



**Nuno Alves Portela Baptista de Gouveia**

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

**Ergonomia como factor integrante das  
ferramentas de implementação *Lean Six Sigma***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Isabel Maria Nascimento Lopes Nunes

Júri

Presidente:

Doutora Virgínia Helena Arimateia de Campos Machado

Vogais:

Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes

Doutor Denis Alves Coelho



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

**Setembro 2012**



Ergonomia como factor integrante das ferramentas de implementação *Lean Six Sigma*

Copyright©: Nuno Alves Portela Baptista de Gouveia, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

À Professora Doutora Isabel Maria Nascimento Lopes Nunes, orientadora deste trabalho, agradeço o apoio e incentivo que me dispensou.

Ao *atelier* de decoração de interiores “Fátima Neto decorações de interiores Sociedade Unipessoal Lda”, onde foi realizado o caso de estudo, agradeço a prontidão e disponibilidade com que me receberam.

À minha família e amigos agradeço o apoio indispensável à realização deste trabalho e acima de tudo a amizade e carinho que me deram durante todo o meu percurso académico.



## Resumo

A filosofia *Lean* permite aumentar a produtividade através da eliminação de desperdícios, elevando a proporção das actividades que acrescentam valor aos processos. A filosofia *Six Sigma*, procura identificar os processos críticos com o objectivo de os melhorar. Ambas as filosofias, quando adequadamente implementadas, permitem às organizações tornarem-se mais competitivas. O *Lean Six Sigma* pretende melhorar o output dos processos, reduzindo o desperdício e a variabilidade destes.

A Ergonomia pretende adequar os sistemas ao Homem, não pondo em risco a sua segurança, minimizando a exposição a factores de risco por falta de adaptação ergonómica, obtendo proactivamente um programa de melhoria contínua na fase inicial de qualquer actividade de concepção ou quando ocorrem alterações no fluxo de produtos ou processos.

A implementação de paradigmas de produção, como a filosofia *Lean*, que reduzem os tempos de ciclo e aumentam a variedade de tarefas, tendem a aumentar a tensão fisiológica e psicológica dos trabalhadores. Deste modo, para evitar problemas de saúde para os trabalhadores e custos para as organizações, torna-se fundamental a integração dos aspectos relacionados com a saúde dos operadores aquando da implementação destas abordagens.

A presente dissertação reflecte a importância que os princípios ergonómicos têm nas diferentes fases de implementação *Lean Six Sigma*. Nesse sentido foram desenvolvidas uma metodologia e uma ferramenta, DMAIC<sup>+ERG</sup> e plus<sup>ERG</sup>, respectivamente. A metodologia baseia-se na inclusão de princípios ergonómicos em cada uma das etapas do ciclo DMAIC, utilizando várias ferramentas (SAMMIE, VSM e plus<sup>ERG</sup>). O SAMMIE é um *Human CAD* que simula configurações de postos de trabalho, pelo que é uma importante ferramenta no apoio à reformulação dos mesmos, enquanto que o plus<sup>ERG</sup> é um sistema de apoio à decisão, baseado em regras IF THEN, com o intuito de controlar a implementação dos princípios relacionados com a Ergonomia, fornecendo um conjunto de recomendações.

Foram realizados três casos de estudo num *atelier* de decoração de interiores, tendo em vista a aplicação da metodologia e da ferramenta, criadas no âmbito deste trabalho, num contexto real. Os resultados obtidos não só demonstraram uma diminuição dos factores de risco para o operador, como também incrementaram a produtividade da empresa.

Palavras-chave: DMAIC, Ergonomia, *Human CAD*, *Lean Six Sigma*, Melhoria contínua.





## Abstract

The Lean philosophy increases productivity by eliminating waste and raising the proportion of activities that add value to processes. The Six Sigma philosophy seeks to identify critical processes with the aim of improving them. Both philosophies, when properly implemented, enable organizations to become more competitive. The Lean Six Sigma seeks to improve the output of processes, reducing their waste and variability.

Ergonomics aims to adapt systems to Humans, by not endangering their safety, minimizing exposure to risk factors due to lack of ergonomic adaptation, obtaining proactively a program of continuous improvement in the initial phase of any design activity or when changes occur in the flow of products or processes.

The implementation of production paradigms, such as the Lean philosophy, which reduce duty cycle and increase the variety of tasks, tend to increase the physiological and psychological stress on workers. Thus, to avoid health problems for workers and costs for organizations, it is essential to integrate health-related aspects from the operators when implementing these approaches.

This work reflects the importance that ergonomic principles have in different stages of implementing Lean Six Sigma. In this regards, a methodology and a tool have been developed, DMAIC<sup>+ERG</sup> and plus<sup>ERG</sup> respectively. The methodology based on the inclusion of ergonomic principles in each DMAIC cycle steps using various tools (SAMMIE, VSM and plus<sup>ERG</sup>). The SAMMIE is a Human CAD that simulates configurations of work posts, so it is an important tool in supporting the reformulation of those, while the plus<sup>ERG</sup> is a decision support system based in the IF THEN rules, with the goal to monitor the implementation of ergonomics-related principles, providing a set of recommendations.

Three case studies were conducted in an interior design studio, in order to implement the methodology and tool created as part of this work in a real context. The results not only showed a decrease in risk factors for the operator but also increased business productivity.

**Keywords:** Continuous improvement, DMAIC, Ergonomics, Human CAD, *Lean Six Sigma*.



## Índice

Capítulo 1 – Introdução.....	1
<b>1.1. Enquadramento</b> .....	1
<b>1.2. Justificação do tema</b> .....	1
<b>1.3. Objectivo</b> .....	2
<b>1.4. Metodologia</b> .....	2
<b>1.5. Estrutura</b> .....	2
Capítulo 2 – Revisão do estado da arte .....	5
<b>2.1. Lean</b> .....	5
2.1.1. Surgimento da filosofia <i>Lean</i> .....	6
2.1.2. <i>Toyota Production System</i> .....	7
<b>2.2. Six Sigma</b> .....	11
<b>2.3. Lean Six Sigma</b> .....	12
<b>2.4. Ciclo DMAIC</b> .....	13
<b>2.5. Value Stream Mapping</b> .....	14
<b>2.6. Ergonomia</b> .....	15
<b>2.7. Lean Six Sigma e Ergonomia</b> .....	18
<b>2.8. Sistemas Periciais</b> .....	20
<b>2.9. SAMMIE - Human CAD</b> .....	22
Capítulo 3 – Metodologia.....	25
<b>3.1. DMAIC<sup>+ERG</sup></b> .....	25
<b>3.2. plus<sup>ERG</sup></b> .....	30
<b>3.3. Proof of concept</b> .....	43
3.3.1. Aplicação do ciclo DMAIC <sup>+ERG</sup> .....	43
Capítulo 4 – Caso de Estudo .....	51
<b>4.1. Caracterização da empresa</b> .....	51
<b>4.2. Reparação de um sofá</b> .....	53
4.2.1. Aplicação do ciclo DMAIC <sup>+ERG</sup> – Reparação de um sofá .....	56

<b>4.3. Confeção de um cortinado .....</b>	<b>66</b>
4.3.1. Aplicação do ciclo DMAIC <sup>+ERG</sup> – Confeção de um cortinado.....	68
<b>4.4. Trabalho de escritório com computador .....</b>	<b>72</b>
Capítulo 5 – Conclusões e trabalho futuro .....	75
<b>5.1. Conclusão .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2. Mais-valias associadas à realização do trabalho .....</b>	<b>77</b>
<b>5.3. Trabalho futuro .....</b>	<b>78</b>
Referências Bibliográficas .....	79
Anexos .....	85
<b>Anexo 1 – Publicação.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 2 – Classificação das posturas .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo 3 – Questionário do nível de fadiga.....</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 4 – Fotos <i>atelier</i>.....</b>	<b>117</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Casa do <i>Toyota Production System</i> (adaptado de LEI, 2011).....	9
Figura 2 – Ciclo DMAIC (adaptado de John, Meran, Roenpage e Staudter, 2008).....	14
Figura 3 – Símbolos <i>Value Stream Mapping</i> (adaptado de El-Haik e Roy, 2005) .....	15
Figura 4 – Componentes de um sistema de apoio à decisão (adaptado de Nunes, 2009) .....	22
Figura 5 – Pirâmide <i>Lean Six Sigma</i> + Ergonomia.....	25
Figura 6 – DMAIC <sup>+ERG</sup> - Modelo conceptual da metodologia proposta (adaptado de Nunes e Machado, 2007) .....	27
Figura 7 – DMAIC <sup>+ERG</sup> .....	26
Figura 8 – Estrutura da base de conhecimento .....	30
Figura 9 – VSM do processo produtivo .....	44
Figura 10 – <i>Layout</i> do posto de trabalho .....	44
Figura 11 – Tarefa de ligar o torno da simulação 1 (a) Real (b) SAMMIE .....	45
Figura 12 – <i>Layout</i> do posto de trabalho com soluções implementadas .....	46
Figura 13 – <i>Layout</i> do posto de trabalho com a recomendação implementada .....	47
Figura 14 – Transporte de PA no carrinho (a) Real (b) SAMMIE .....	48
Figura 15 – VSM do processo produtivo com soluções implementadas.....	48
Figura 16 – Comparação dos resultados do <i>Lead time</i> (a) e PCE (b) entre as simulações 1 e 3 .....	50
Figura 17 – Planta do <i>atelier</i> (1 – montagem dos sofás; 2 – Máquinas de costura; 3 – Mesa de corte; 4 – Engomadoria) .....	52
Figura 18 – Desmontagem e reparação dos componentes em madeira.....	53
Figura 19 – Medição e colagem/agrafagem dos materiais .....	53
Figura 20 – Aspecto final do sofá reparado.....	54
Figura 21 – Fluxograma da reparação do sofá.....	55
Figura 22 – VSM do processo produtivo reparação de um sofá.....	57
Figura 23 – <i>Layout</i> do <i>atelier</i> .....	58
Figura 24 – VSM do processo produtivo reparação do sofá depois das alterações efectuadas .....	62
Figura 25 – <i>Layout</i> do <i>atelier</i> depois das alterações efectuadas.....	63
Figura 26 – Planta do <i>atelier</i> com as alterações efectuadas (1 – montagem dos sofás; 2 – Máquinas de costura; 3 – Mesa de corte; 4 – Engomadoria) .....	64
Figura 27 – Gráficos do <i>Lead time</i> e do PCE da situação inicial e da situação melhorada.....	66
Figura 28 – Tipo de cortinados confeccionados no caso de estudo .....	66
Figura 29 – Tarefa de costura na máquina .....	67
Figura 30 – Fluxograma da confecção de um cortinado .....	67

Figura 31 – VSM do processo produtivo confecção do cortinado.....	69
Figura 32 – Questionário do nível de fadiga (adaptado de Couto, 1995).....	115
Figura 33 – Proof of concept - questionário .....	115
Figura 34 – Montagem de sofás - questionário.....	116
Figura 35 – Confecção do cortinado - questionário .....	116
Figura 36 – Zona de montagem dos sofás: a) antes e b) depois das alterações efectuadas .....	119
Figura 37 – Zona das máquinas de costura: a) antes e b) depois das alterações efectuadas.....	119
Figura 38 – Entrada do <i>atelier</i> : a) antes e b) depois das alterações efectuadas .....	120

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Comparação da produção em massa com a produção <i>Lean</i> (adaptado de Melton, 2005).....	8
Tabela 2 – Os princípios <i>Six Sigma</i> e <i>Lean</i> (adaptado de Jiang, Chen e Wu, 2004).....	12
Tabela 3 – Comparação entre sistemas convencionais e sistemas periciais (adaptado de Turban e Aronson, 2001).....	21
Tabela 4 – Exemplos de métricas produtivas .....	28
Tabela 5 – Exemplos de métricas ergonómicas .....	29
Tabela 6 – plus <sup>ERG</sup> - Áreas de intervenção ergonómica e respectivos atributos .....	31
Tabela 7 – BC - Área de intervenção ergonómica MMC.....	33
Tabela 8 – BC - Área de intervenção ergonómica posturas .....	34
Tabela 9 – BC - Área de intervenção ergonómica trabalho com equipamento dotado de visor .....	36
Tabela 10 – BC - Área de intervenção ergonómica ritmo de trabalho .....	37
Tabela 11 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica MMC.....	39
Tabela 12 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica posturas .....	40
Tabela 13 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica trabalho com equipamento dotado de visor .....	41
Tabela 14 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica ritmo de trabalho .....	42
Tabela 15 – Resumo da aplicação da metodologia .....	49
Tabela 16 – Resumo das soluções implementadas no 1º posto de trabalho .....	65
Tabela 17 – Resumo das soluções implementadas no 2º posto de trabalho .....	71
Tabela 18 - Critérios RULA: posturas inadequadas (adaptado de Nunes, 2002) .....	111
Tabela 19 - Critérios RULA: força aplicada (adaptado de Nunes, 2002) .....	111





## Lista de Abreviaturas

CAD – *Computer-aided design*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

DOE – *Design of experiments*

FMEA – *Failure mode and effects analysis*

HFE – *Human Factor/Ergonomics*

JIT – *Just-in-time*

MMC – Manuseamento manual de cargas

PCE – *Process cycle efficiency*

PT – Posto de trabalho

QFD – *Quality function deployment*

SIPOC – *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Costumers*

SMED – *Single minute exchange of die*

TPS – *Toyota Production System*

VA – Valor acrescentado

VNA – Valor não acrescentado

VSM – *Value Stream Mapping*



## Capítulo 1 – Introdução

O presente capítulo pretende apresentar o âmbito do trabalho, o enquadramento, a sua estrutura, de modo a servir de preâmbulo aos capítulos seguintes, o objectivo traçado para o trabalho e a metodologia utilizada.

### 1.1. Enquadramento

Um dos objectivos das organizações é produzir ao menor custo possível. Deste modo, de forma a tornarem-se mais competitivas adoptam novos paradigmas de gestão. Um desses paradigmas é a filosofia *Lean*. Esta filosofia permite reduzir os custos focando-se nas actividades de valor acrescentado e na eliminação de desperdícios. Consideram-se normalmente os seguintes sete desperdícios: excesso de produção, espera, transporte e movimentos desnecessários, processamento incorrecto, excesso de *stocks* e produção de defeituosos. Um oitavo desperdício começa a ser considerado, que se relaciona com a não utilização da criatividade dos funcionários (Hicks, 2007; Womack e Jones, 2003). Por outro lado, a estratégia de gestão *Six Sigma* procura identificar os processos críticos com o objectivo de os melhorar (George, 2003).

A integração das duas filosofias deu origem à metodologia *Lean Six Sigma*, que tem como princípio melhorar os custos, a qualidade e o tempo de ciclo das actividades que acrescentam maior valor para o cliente e que representam o maior tempo de atraso nos processos (George, 2002). Desta forma, as duas filosofias *Lean* e *Six Sigma* têm como objectivo melhorar o *output* dos processos, reduzindo o desperdício e a variabilidade destes (Devane 2004). Para atingir esse objectivo existem diversas metodologias ou ferramentas disponíveis, como sejam o Ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) ou o VSM (*Value Stream Mapping*) (El-Haik e Roy 2005; George, 2002; Linderman *et al.*, 2003; John, Meran, Roenpage, e Staudter, 2008; Montgomery e Woodall, 2008).

### 1.2. Justificação do tema

A implementação de paradigmas de produção, como a filosofia *Lean*, que reduzem os tempos de ciclo de trabalho e a variedade de tarefas tendem a aumentar a tensão fisiológica e psicológica dos trabalhadores. Deste modo, para evitar problemas de saúde e de segurança para os trabalhadores e custos para as organizações (devido por exemplo, ao aumento de erros, à perda de produtividade, ao aumento do absentismo ou à indemnização aos trabalhadores) torna-se fundamental a integração dos aspectos relacionados com os factores humanos aquando da implementação destas abordagens (Nunes e Machado, 2007). O planeamento, a concepção e a gestão de sistemas complexos terão cada vez mais

de abordar os problemas relacionados com os *trade-offs* entre a segurança e a produção, sendo a ergonomia fundamental na resolução dos mesmos (Wilson *et al.*, 2009).

### 1.3. Objectivo

Este trabalho tem como objectivo a criação de uma metodologia e de uma ferramenta, DMAIC<sup>+ERG</sup> e plus<sup>ERG</sup>, que permitam a inclusão de princípios e boas práticas ergonómicas nas diferentes fases da implementação de uma abordagem *Lean Six Sigma*. Se os princípios ergonómicos forem aplicados atempadamente, não só está salvaguardada a saúde e o bem-estar do operador, mas também a produtividade da organização e a redução dos custos associados à implementação de melhorias. É necessário abordar o sistema produtivo como um todo, correlacionando a Ergonomia com os restantes componentes do sistema produtivo.

### 1.4. Metodologia

A metodologia proposta neste trabalho trata-se dum incremento ao Ciclo DMAIC denominando-se DMAIC<sup>+ERG</sup>. Cada letra da designação da metodologia corresponde a uma das cinco etapas em que se baseia: *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*. Pretende-se com esta melhoria incluir em cada uma das etapas princípios e boas práticas ergonómicas. Foi também criada uma ferramenta de apoio à decisão, plus<sup>ERG</sup>, baseada em regras IF THEN que permite controlar a implementação dos princípios relacionados com a Ergonomia e gerar recomendações, caso seja necessário. O plus<sup>ERG</sup> pode ser utilizado na etapa analyze do ciclo DMAIC<sup>+ERG</sup> ou aplicado individualmente num posto de trabalho.

### 1.5. Estrutura

Este trabalho apresenta-se estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, “Introdução”, é o capítulo introdutório apresentando uma primeira abordagem ao tema do trabalho, o seu enquadramento, bem como o seu objectivo e a metodologia utilizada na sua concretização.

No segundo capítulo, “Revisão do estado da arte”, é realizada uma revisão bibliográfica dos temas abordados no trabalho começando pela história e desenvolvimento da filosofia *Lean*, da filosofia *Six Sigma* e da sua interligação; descrevem-se a importância e os princípios da Ergonomia e o impacto, que as filosofias de produtivas têm no trabalhador. Finalmente referem-se os sistemas periciais e o sistema de *Human computer-aided design* (CAD), SAMMIE (Case *et al.* 1990), bem como os seus principais objectivos.

O terceiro capítulo, “Metodologia”, apresenta a metodologia desenvolvida no contexto do presente trabalho, designada por DMAIC<sup>+ERG</sup> assim como as ferramentas que são utilizadas durante a aplicação da metodologia. É também realizado um *proof of concept* de um processo produtivo para avaliar a eficácia da metodologia.

No quarto capítulo, “Caso de estudo”, é feita uma breve contextualização da empresa que se utilizou para aplicar a metodologia proposta, esta que é um *atelier* de decoração de interiores, em dois postos de trabalho da empresa e aplicada a ferramenta criada no âmbito deste trabalho, plus<sup>ERG</sup>, num terceiro posto de trabalho. São apresentados e discutidos neste capítulo os resultados obtidos neste caso de estudo.

No quinto e último capítulo, “Conclusões e trabalho futuro”, são apresentadas as conclusões do presente trabalho. Identificam-se também as mais-valias associadas à realização do mesmo e por último sugerem-se trabalho futuro e pontos de interesse que não puderam ser convenientemente abordados.

Esta dissertação termina com a compilação das referências bibliográficas utilizadas e com a apresentação de Anexos, que possuem informação relevante de apoio a várias partes do trabalho.



## Capítulo 2 – Revisão do estado da arte

Neste capítulo vai ser apresentada uma revisão da literatura relativa aos temas da tese. A filosofia *Lean* e a filosofia *Six Sigma* e a sua interligação; vai ser descrita a importância da Ergonomia e dos seus princípios e a influência que as filosofias de produção têm no trabalhador. São também abordados os sistemas periciais e o *Human CAD SAMMIE*.

### 2.1. Lean

Um dos objectivos das organizações é produzir ao menor custo possível. Deste modo, e de forma a tornarem-se mais competitivas, adoptam novos paradigmas de gestão. Um desses paradigmas é a filosofia *Lean*; uma filosofia de gestão, cujos princípios se baseiam no trabalho de equipa, na comunicação, na melhoria contínua e na eliminação de desperdícios com o intuito de melhorar a qualidade, a produtividade e o tempo de resposta ao mercado (Womack, Jones e Ross, 1990; Womack e Jones, 2003).

O *Lean Manufacturing* ou simplesmente *Lean* (como é comumente designado) tem como principal objectivo reduzir os sete tipos de desperdícios num processo de produção: excesso de produção, tempos de espera, transporte, sobre-processamento, inventário, movimentos e defeitos/falhas (Melton, 2005). Eliminando os desperdícios, a qualidade é mais elevada e o tempo e os custos de produção são reduzidos (Wilson, 2010). Um oitavo desperdício começa a ser considerado, que corresponde à não utilização da criatividade dos funcionários, o que resulta na perda de ideias, aptidões, melhorias e oportunidades de aprendizagem pela não valorização das suas opiniões e pontos de vista (Hicks, 2007).

O seguinte conjunto de ferramentas e técnicas-chave permite implementar a filosofia *Lean* nas organizações (Kilpatrick, 2003; Melton, 2005):

- *Kanban* – sistema visual que permite apoiar o fluxo de produtos. Geralmente são utilizados cartões para indicar a ordem dos materiais, quantos são necessários, onde se encomendam ou onde devem ser entregues;
- Técnica dos 5 S – técnica de organização/limpeza do posto de trabalho que permite ao trabalhador um controlo sobre o mesmo; esta técnica é também conhecida como organização do espaço de trabalho e é uma das ferramentas *Lean* mais fáceis de implementar uma vez que traz retorno imediato do investimento, pode ser utilizada em todas as áreas da indústria e é

aplicável a todas as funções numa organização. Devido a estes atributos é normalmente a primeira recomendação a uma empresa que esteja a implementar princípios *Lean*.

- Controlo visual – avaliação do desempenho do posto de trabalho realizado pela equipa do operador. São sinais simples que permitem uma imediata percepção de uma condição ou situação do posto de trabalho, sendo assim possível num curto período de tempo ver o que se passa no que diz respeito a horários de produção, fluxo de trabalho, níveis de inventário, utilização de recursos e qualidade.
- *Poke yoke* – técnica à “prova de erro”, isto é, idealmente deve-se prevenir as anomalias antes que elas ocorram;
- *SMED (Single Minute Exchange of Dies)* – técnica de redução do tempo de preparação ou mudança do sistema produtivo. O propósito de reduzir este tempo não é aumentar a capacidade produtiva mas sim aumentar a sua flexibilidade.

A designação *Lean*, a qual significa produção magra, uma vez que o processo produtivo pode decorrer utilizando menos material, menor investimento, menor inventário, consumindo menos espaço e usando menos pessoas (Wilson, 2010). O lema do *Lean* é, basicamente, o de ser capaz de proporcionar as coisas certas, no local exacto, no tempo certo e nas quantidades necessárias, minimizando simultaneamente desperdícios e sendo tolerante e flexível à mudança.

Womack e Jones identificam como princípios *Lean* a identificação de valor, a eliminação de desperdício e a criação de fluxos (valor para o consumidor), o que claramente demonstra que não é uma filosofia que apenas se aplica à indústria automóvel (Melton, 2005).

#### 2.1.1. Surgimento da filosofia *Lean*

Depois da I Grande Guerra, Henry Ford, fundador da *Ford Motor Company* e Alfred Sloan, presidente e gestor da *General Motors*, mudaram o paradigma que durava desde sempre, produção artesanal (*craft production*), para o paradigma produção em massa (*mass production*); as empresas europeias seguiram o exemplo dos Estados Unidos da América, como resultado destes dominarem a economia mundial, e adoptaram também este novo paradigma. A produção em massa tornou-se possível com a introdução de uma série de novas ideias, como a linha de montagem móvel, isto é, com tapetes rolantes ou, mais importante ainda, a completa e consistente inter-substituibilidade das peças e a facilidade na sua montagem (Womack, Jones e Ross, 1990).



Nos anos 40 (depois da II Grande Guerra) Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da fábrica *Toyota*, propuseram um novo paradigma de produção, o sistema de produção *Lean*. Foram responsáveis pelo crescimento económico do Japão, pois viram várias organizações implementarem este novo paradigma de produção (Womack, Jones e Ross, 1990).

A produção *Lean* permite aumentar a eficiência da produção eliminando continuamente os desperdícios; reconhecendo que apenas uma pequena fracção do tempo e esforço totais acrescentavam valor para o cliente final. Isto foi claramente o oposto ao que fazia o mundo ocidental, onde a produção em massa reinava e andava em torno de complexos sistemas de produção, realizados através das filosofias originalmente desenvolvidas por Henry Ford, ou seja, a larga produção de produtos estandardizados com alterações mínimas; o *Lean* foi desenvolvido com o objectivo de alcançar a perfeição do processo produtivo; ao contrário da produção em massa, que apenas procurava atingir o “suficiente” (Melton, 2005).

Cada vez mais as empresas são obrigadas a fazer transformações com o intuito de responder positivamente às novas exigências do mercado. Muitas delas estão a aplicar princípios *Lean*. A produção em massa é vista como a produção do século XX, enquanto que a produção *Lean* é vista como a produção do século XXI (Nunes e Machado, 2007). A Tabela 1 apresenta uma comparação entre a produção em massa e a produção *Lean*.

#### 2.1.2. *Toyota Production System*

Na génese do que hoje chamamos *Lean* está o *Toyota Production System* (TPS). Segundo Taiichi Ohno, ao eliminar o desperdício, poder-se-ia aumentar a produtividade dez vezes; esta ideia, a de grande ganho na produtividade, marcou o início do TPS e, conseqüentemente, de um outro momento fundamental para a indústria que se tratou do nascimento da filosofia *Lean* (Ohno, 1988).

Existem três frases chave de Ohno, que em conjunto, definem o TPS (Wilson, 2010):

- “A base do TPS é a absoluta eliminação de desperdício”;
- “A redução de custos é o objectivo”;
- “Depois da II Grande Guerra, a nossa maior preocupação era como produzir produtos de alta qualidade. Depois de 1955, a questão tornou-se em como produzir a quantidade exacta”.

Tabela 1 – Comparação da produção em massa com a produção *Lean* (adaptado de Melton, 2005)

	Produção em massa	Produção <i>Lean</i>
Origem	Ford e General Motors	Toyota
Responsáveis pela concepção dos sistemas produtivos	Profissionais pouco qualificados	Equipas de trabalhadores multifacetados a todos os níveis da organização
Responsáveis pela produção	Trabalhadores não qualificados ou semiqualeificados	Equipas de trabalhadores multifacetados a todos os níveis da organização
Equipamento	Máquinas de elevado custo e com um único propósito	Sistemas manuais e automáticos que permitem produzir em larga escala e elevada variedade de produtos
Métodos de produção	Larga escala de produtos estandardizados	Produtos encomendados pelo cliente
Filosofia organizacional	Hierárquica – responsabilidade dos gestores	Diferentes níveis de autonomia – responsabilidades num nível mais baixo da organização
Filosofia	Procura o “suficiente”	Procura a perfeição

Ohno descreve então que a base de sustentação do TPS é a absoluta eliminação do desperdício, com o intuito de reduzir custos associados aos mesmos. Esta eliminação é construída com base em dois pilares, *Just-in-Time* (JIT) e *Jidoka*, de modo a atingir os objectivos de melhorar a qualidade, ter menores custos, bem como, menores tempos de entrega (Wilson, 2010). A Figura 1 representa a casa do TPS.

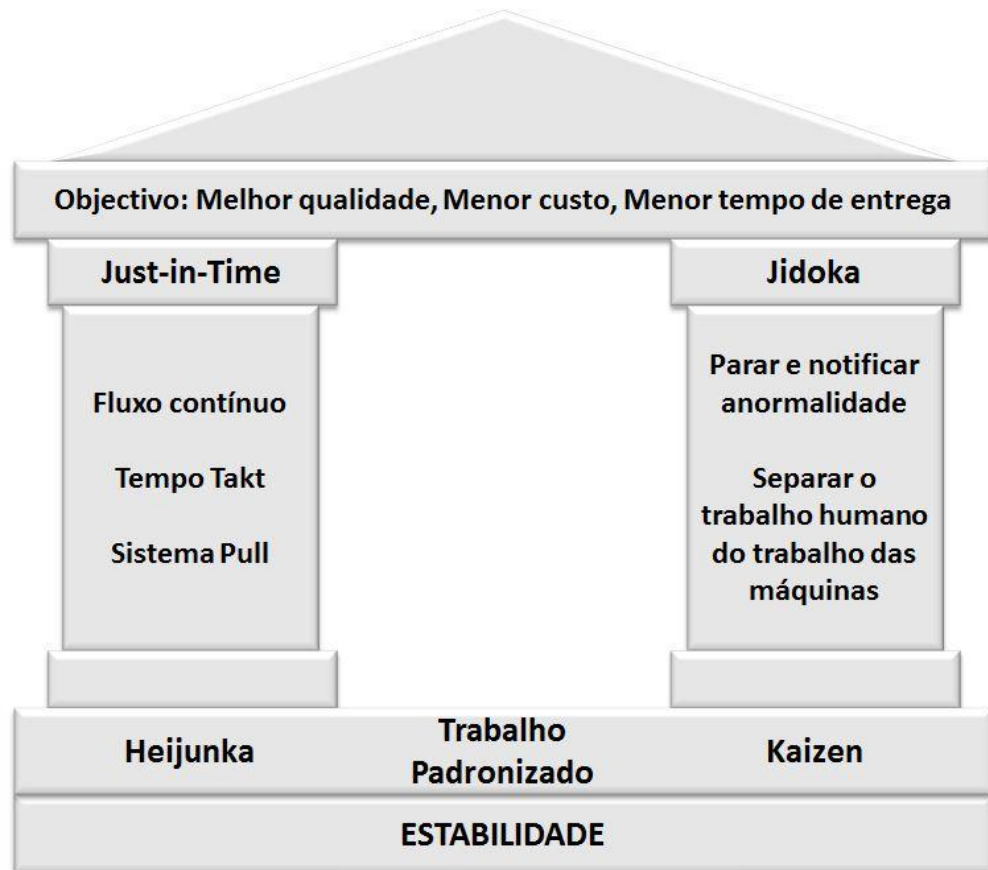


Figura 1 – Casa do *Toyota Production System* (adaptado de LEI, 2011)

O primeiro pilar, JIT, é uma técnica que permite fornecer a quantidade certa, no momento certo e exactamente no local correcto. Constitui assim um controlo da quantidade e é a técnica chave do TPS (Wilson, 2010). Práticas JIT criam um efeito indirecto através da melhoria dos processos produtivos, fornecendo um conjunto de metas e disciplina para a organização, em vez de um efeito directo no desempenho (Sakakibara, Flynn, Schroeder e Morris, 1997). Existem três elementos essenciais para o JIT alcançar os seus objectivos:

- Sistema *Pull*, que é a técnica de produzir somente os produtos encomendados pelo cliente (Kilpatrick, 2003), o que permite minimizar o inventário, o *work-in-process* e a matéria-prima usada num processo de produção (Jiang, Chen, e Wu, 2004); basicamente a produção *Lean* cria uma revolução através de efeitos cumulativos de várias pequenas melhorias para continuamente melhorar o processo de produção (Chase, Jacobs e Aquilano, 2006);

- Tempo *Takt* ( $\hat{C}_i$ ), que é definido a partir da procura do mercado e do tempo disponível para produção e corresponde ao ritmo de produção necessário para responder à procura. Matematicamente, resulta da razão entre o tempo disponível para a produção e o número estimado de unidades a produzir (Alvarez e Antunes, 2001) e permite calcular o tempo de ciclo (Miltenburg, 2001):

$$\hat{C}_i = \frac{\text{Tempo disponível para a produção do produto } i}{\text{Procura dirigida ao produto } i}$$

O tempo de ciclo,  $C_i$ , deverá ser igual ou inferior a  $\hat{C}_i$  calculado e o objectivo da produção em *one piece flow* passa por obter um tempo de ciclo e um tempo *Takt* iguais (Miltenburg, 2001).

- Fluxo contínuo, é definido como uma produção que se pretende com uma cadência constante, estipulada por um tempo de ciclo, de pequenas quantidades de cada vez, até ao limite de uma peça de cada vez (Liker, 2004), permitindo produzir uma vasta gama de produtos com volume médio de produção, de forma flexível e inovadora, como no caso da produção por lotes, e, ao mesmo tempo, com níveis competitivos de custo e alta qualidade, como nas linhas de produção (Miltenburg, 2001).

O pilar *Jidoka* é um método de controlo da qualidade que visa capacitar uma máquina, em conjunto com o seu operador, para reconhecer que algo está errado parando o processo a tempo do problema ser corrigido (Miltenburg, 2001). É a automação com um toque humano e essencialmente significa “à prova de erro”, isto é, a maior qualidade com que os produtos são fabricados permitindo aos trabalhadores ter menor dependência das máquinas, podendo assim realizar outras tarefas de valor acrescentado (Liker, 2004).

Como se pode observar na Figura 1 na base da casa do TPS de modo a garantir a estabilidade do sistema global estão três princípios: Heijunka, trabalho padronizado e Kaizen.

Heijunka é o nivelamento da produção através da eliminação das flutuações do volume de produção causadas por encomendas de clientes ou épocas sazonais, com o intuito de chegar a um sistema de produção mista com um fluxo constante de unidades produzidas (Lippolt e Furmans, 2008). O planeamento semanal e diário é alcançado considerando os dados da procura num horizonte temporal de alguns meses. É então calculada a sequência de produção, o mix de produtos e o tamanho do lote ficando, assim, definido o ciclo de produção numa dada linha (Matzka, Di Mascolo e Furmans, 2009).

Se o objectivo do *Toyota Production System* é criar uma sequência de produção eficiente, o trabalho padronizado delinea métodos de trabalho eficientes e seguros, preocupando-se com a eliminação do desperdício e com a manutenção da qualidade da produção (Kasul e Motwani, 1997).

Kaizen é uma expressão japonesa que significa melhoria contínua (Liker, 2004), tomando forma num conjunto de acções que se destinam a ser aplicadas fundamentalmente às pequenas melhorias, de baixo custo e risco (Jacobson *et al.*, 2009).

O TPS é então o que hoje designamos de filosofia *Lean*, tendo como base a casa representada na Figura 1, é um sistema de produção reconhecido em todo o Mundo através das suas técnicas, ferramentas e princípios.

## **2.2. Six Sigma**

A filosofia *Six Sigma* foi desenvolvida nos anos 80, pela Motorola, como resposta à necessidade de melhorar a qualidade e reduzir os defeitos dos seus produtos (Arnheiter e Maleyeff, 2005; Montgomery e Woodall, 2008). Nos últimos 30 anos, *Six Sigma* estabeleceu-se como um dos mais reconhecidos conceitos de optimização de processos (John, Meran, Roenpage e Staudter, 2008), procurando identificar as actividades críticas com o objectivo de as melhorar (George, 2003), melhorando a qualidade, reduzindo custos e expandindo os mercados para produtos e serviços (Montgomery e Woodall, 2008).

O conjunto de técnicas geradas pela filosofia *Six Sigma* visam identificar quais os *inputs* críticos que afectam a qualidade do produto ou do serviço, a chave está em procurar os processos críticos identificá-los e focar o objecto de mudança que irá proporcionar maior impacto (George, 2003). Desta forma, o focus dirige-se à melhoria dos processos para aumentar a sua capacidade e reduzir a variação dos mesmos (El-Haik e Roy, 2005), com utilização de seis desvios padrão em detrimento da regra “três sigma” (intervalo de confiança calculado com três desvios padrão) de forma a reduzir a percentagem de produtos defeituosos, a longo prazo, de 35 mil por milhão para 3,4 por milhão (Arnheiter e Maleyeff, 2005).

A melhoria de processos, os métodos estatísticos, o foco no consumidor, nos processos e um sistema de gestão centrado em projectos de melhoria com alto retorno constituem os princípios *Six Sigma* para alcançar a melhoria contínua e ganhos financeiros significativos (Devane, 2004).

Metodologias e ferramentas como, por exemplo, o *Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers* (SIPOC), o VSM, a Casa da Qualidade (QFD), a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), o ciclo DMAIC ou Desenho de Experiências (DOE) fazem parte do leque disponível para perseguir o objectivo de identificar e melhorar os processos críticos (El-Haik e Roy, 2005).

### 2.3. *Lean Six Sigma*

A filosofia *Six Sigma* tem evoluído ao longo do tempo, nomeadamente ao ser utilizada em conjunto com outras filosofias de gestão, como seja por exemplo, a integração *Lean* no conceito clássico do *Six Sigma* (John, Meran, Roenpage e Staudter, 2008). Uma vez que as duas filosofias têm como objectivos comuns a melhoria da capacidade do processo produtivo e a eliminação de desperdícios, configuram-se como duas filosofias complementares e não como concorrentes (Jiang, Chen e Wu, 2004). Na Tabela 2 estão dispostos os princípios das filosofias *Six Sigma* e *Lean*.

**Tabela 2 – Os princípios *Six Sigma* e *Lean*** (adaptado de Jiang, Chen e Wu, 2004)

<b>Princípios <i>Six Sigma</i></b>	<b>Princípios <i>Lean</i></b>
Melhoria contínua	Melhoria contínua
Mudança de cultura	Identificação e eliminação de desperdício
Gestão baseada em dados	Produzir só produtos encomendados (JIT)
Redução da variação	Perceber o cliente
Orientação para o cliente	Simplificar continuamente o processo produtivo
Organização baseada em projectos	Minimizar inventário, <i>Work-in-process</i> e as matérias-primas
Focada em resultados financeiros	Optimizar o uso de recursos de manufactura
Melhoria nos processos e na gestão	
Estabilidade e precisão do projecto	

Deste modo, a junção das duas filosofias dá origem a uma abordagem *Lean Six Sigma* que tem como princípio melhorar os custos, a qualidade e o *lead time* das actividades que acrescentam maior valor para o cliente e das actividades que representam um aumento no tempo de atraso dos processos. A fusão das duas filosofias é vantajosa dado que, se por um lado, a implementação *Lean* permite melhorar a velocidade do processo e reduzir o capital investido, por outro, a implementação *Six Sigma* permite realizar o controlo estatístico do processo (George, 2002). Num ambiente altamente competitivo Arnheiter e Maleyeff (2005) verificaram uma diminuição dos ganhos quando cada uma das filosofias foi implementada isoladamente.

Dado que um objectivo comum das duas filosofias, *Lean* e *Six Sigma*, é a melhoria contínua, a metodologia DMAIC, cujo objectivo é melhorar os processos sem os redesenhar, constitui um instrumento de apoio a este objectivo (El-Haik e Roy, 2005).

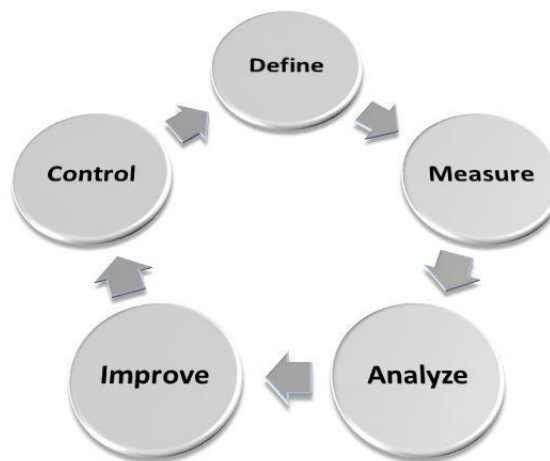
#### **2.4. Ciclo DMAIC**

O DMAIC configura-se como um ciclo iterativo que pode ser utilizado para otimizar os processos existentes de forma a aumentar a sua qualidade (reduzindo os desperdícios associados aos processos), a reduzir *stocks*, a diminuir tempos de ciclo através de controlo do inventário e do ajuste da capacidade. A aplicação desta metodologia permite identificar e resolver problemas complexos (John, Meran, Roenpage e Staudter, 2008).

Esta metodologia é aplicada em 5 etapas (El-Haik e Roy, 2005):

- *Define* – definir as oportunidades e os requisitos dos consumidores;
- *Measure* - garantir métricas adequadas, estabilidade e capacidade inicial do processo;
- *Analyze* – analisar os dados e *inputs* críticos identificados;
- *Improve* - melhorar o processo com base no novo conhecimento;
- *Control* - implementar controlos adequados para sustentar os ganhos.

O ciclo DMAIC é uma das metodologias muito utilizadas para obter a melhoria de processos (Linderman *et al.*, 2003), onde em cada uma das 5 etapas são utilizados gráficos de controlo, desenho de experiências, análise da capacidade do processo, estudos de medição da capacidade do sistema e outras ferramentas básicas de estatística (Montgomery e Woodall, 2008). A Figura 2 apresenta as diferentes etapas do ciclo DMAIC.



**Figura 2 – Ciclo DMAIC** (adaptado de John, Meran, Roenpage e Staudter, 2008)

## **2.5. Value Stream Mapping**

Uma ferramenta muito utilizada na abordagem *Lean Six Sigma* é o VSM, que permite mapear todo o processo produtivo e calcular métricas *Lean*, é aplicável quando se pretende identificar e eliminar passos, acções e actividades de Valor Não Acrescentado (VNA), sendo que as actividades de Valor Acrescentado (VA) são as que os clientes estão dispostos a pagar ao contrário das actividades de VNA que não são necessárias devendo ser eliminadas, simplificadas, reduzidas ou integradas (El-Haik e Roy, 2005). Para calcular a eficiência do processo produtivo, é necessário dividir o tempo total de actividades de valor acrescentado pelo tempo de ciclo total (*lead time*), é calculado desta forma o *Process Cycle Efficiency* (PCE). Um processo *Lean Six Sigma*, para ser eficiente, deverá ter um PCE de, pelo menos, 25% (George, 2002). Na Figura 3 estão alguns dos símbolos mais utilizados na elaboração de um VSM.



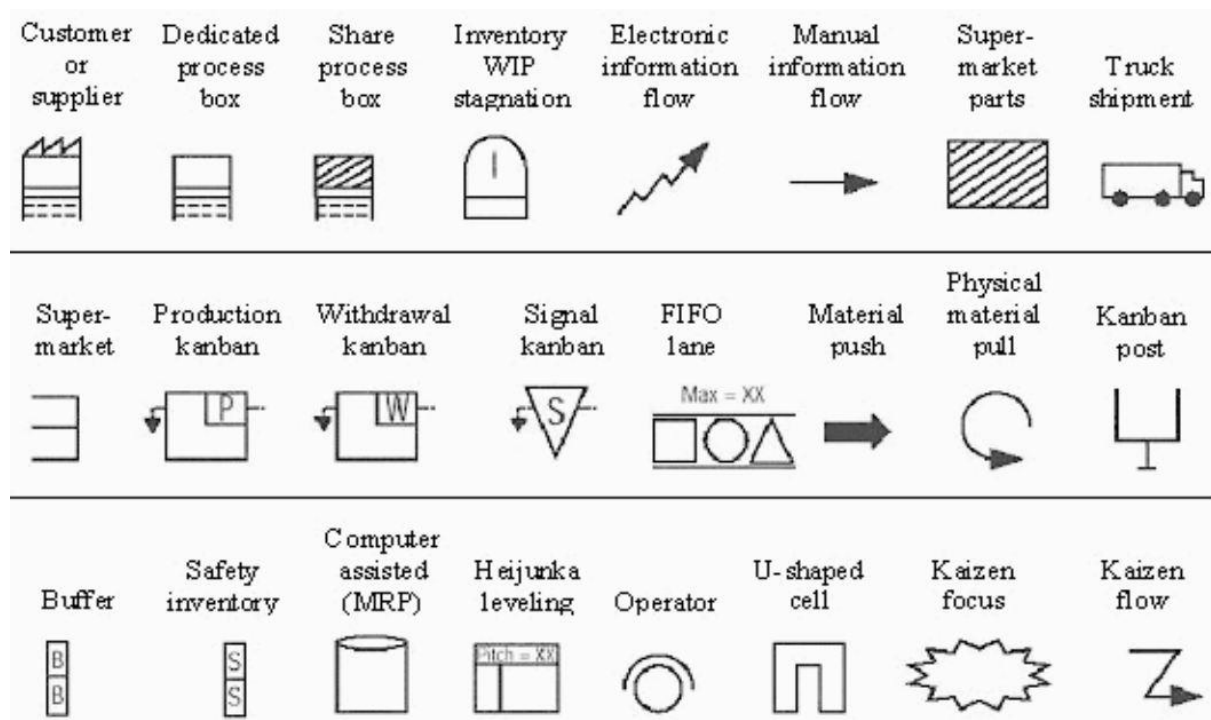


Figura 3 – Símbolos *Value Stream Mapping* (adaptado de El-Haik e Roy, 2005)

## 2.6. Ergonomia

A palavra “Ergonomia” resulta da junção de duas palavras gregas: “ergon” que significa trabalho e “nomos” que significa leis naturais. A Ergonomia é uma ciência cujo objectivo é adaptar o posto de trabalho, aparelhos ou tarefas ao homem de forma melhorar a sua segurança, saúde conforto e desempenho, e não forçar o trabalhador a adaptar-se à tarefa (Dul e Weerdmeester, 2001). Ergonomia é também conhecida como “Factores Humanos” e é uma disciplina científica relacionada com a compreensão de interacções entre seres humanos e outros elementos de um sistema aplicando teorias, princípios, dados e métodos para a concepção do sistema com o intuito de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema. As três características fundamentais da Ergonomia/Factores Humanos (HFE) derivam das seguintes descrições (Dul *et al.* 2012):

1. Requer uma abordagem sistemática;

Quando conjugamos um conjunto de componentes que interagem, são interdependentes entre si e formam um todo, obtemos um sistema. HFE baseia-se em sistemas que foram concebidos com o objectivo de integrar a parte humana com o seu ambiente de trabalho. Esse ambiente pode ser um artefacto feito pelo homem (ex: produto, ferramenta, tarefa, etc.) ou constituído por outros humanos. Para isso considera diferentes aspectos da pessoa/indivíduo (físicos, fisiológicos,

psicológicos e sociais) e do ambiente (físico, social, etc.). Pode dividir-se a questão em vários níveis: micro (a interacção humana com as ferramentas ou a desempenhar uma simples tarefa), mesio (integração humana numa organização ou processo técnico) e macro (integração humana numa rede de organizações, regiões, países ou Mundo).

Quando os problemas são definidos e são elaboradas as respectivas soluções, os limites do sistema são definidos e o objectivo pode passar por aspectos específicos dos trabalhadores (ex: físicos), do ambiente (ex: posto de trabalho), ou de um nível (ex: micro). No entanto, o contexto que abrange o homem no seu ambiente é sempre levado em consideração e é esta perspectiva que se designa por abordagem sistemática ou abordagem holística.

2. Tem o objectivo de obter uma concepção;

A Ergonomia procura melhorar o desempenho e o bem-estar através da concepção de sistemas; as respectivas análises e avaliações resultam em recomendações e acções para estes. HFE pode estar envolvido em todas as fases de planeamento, *design*, implementação, avaliação, manutenção e melhoria contínua dos sistemas. Estas fases podem não ser sequenciais (são dinâmicas) mas o design elaborado tem que estar presente em todas elas (uma vez que decisões numa fase podem afectar ou ser afectadas por outras fases).

3. Foca-se em dois resultados que se relacionam: desempenho e bem-estar.

Ao adaptar o ambiente ao homem, obtém-se dois resultados: desempenho (produtividade, eficiência, qualidade, inovação, segurança) e bem-estar (saúde, satisfação, aprendizagem, etc.). O desempenho e o bem-estar interagem; o desempenho pode ser influenciado pelo bem-estar e vice-versa, tanto a curto como a longo prazo.

O desempenho piora quando não existe um ambiente adequado às capacidades e às limitações humanas (quando existem partes no sistema que são um obstáculo em vez de serem um apoio: equipamento inadequado, falta de tempo, etc.).

A Ergonomia deve contribuir para a concepção e avaliação de tarefas, trabalhos, equipamentos, produtos, ambientes físico e social e sistemas, com o objectivo de torná-los compatíveis com as necessidades, capacidades e limitações das pessoas. Pode ser aplicada nos mais diversos sectores de actividade (industrial, transportes, sistemas informatizados, hospitalar, etc.). As intervenções ergonómicas melhoram significativamente a eficiência, produtividade, segurança e saúde dos trabalhadores; actuando em todas as frentes de qualquer situação de trabalho ou lazer, desde o *stress*

físico até aos factores ambientais que possam afectar a audição, visão ou conforto (IEA Council, 2000).

Existem domínios de especialização dentro da disciplina, que representam profundas competências em atributos humanos específicos e características da interacção humana, que são (IEA Council, 2000):

- Ergonomia Física tem em conta características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica e como eles se relacionam à actividade física; os tópicos relevantes incluem a postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho, *layout* de trabalho, segurança e saúde.
- Ergonomia Cognitiva preocupa-se com processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora, assim como a sua influência nas interacções entre os seres humanos e outros elementos de um sistema; os tópicos relevantes incluem carga mental de trabalho, tomada de decisão, performance especializada, interacção homem-computador, confiabilidade humana, *stress* e treino, e também como estes se relacionam ao design do sistema que o Homem vai integrar.
- Ergonomia Organizacional está focada na optimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo as estruturas organizacionais, políticas e os processos.

Em resumo, a Ergonomia, é uma disciplina orientada para os sistemas produtivos, visa optimizar o seu funcionamento, através da eliminação ou, pelo menos, da diminuição da incompatibilidade entre os trabalhadores e o seu sistema de trabalho (IEA Council, 2000).

As consequências de não aplicar os princípios de Ergonomia nos sistemas de trabalho são tanto para o trabalhador como para a empresa. O surgimento de desconforto muscular, fadiga, *stress* no trabalho, e/ou lesões músculo-esqueléticas são consequências comuns para os trabalhadores. Para as empresas os resultados podem ser o aumento dos erros, absentismo dos trabalhadores, ou a diminuição da produtividade e moral dos empregados (Nunes e Machado, 2007).

A importância da Ergonomia vai para além da saúde e segurança, pode suportar a estratégia de negócio da organização, de modo a que esta se mantenha competitiva. Em suma, a Ergonomia tem dois objectivos, um social associado ao bem-estar dos trabalhadores, e outro económico que está ligado ao desempenho de todo o sistema; considera tanto aspectos físicos como psicológicos e procura soluções a nível técnico e organizacional, o que traz benefícios ao volume de produção, prazo de entrega, flexibilidade de produção, qualidade ou custo operacional (Dul e Neumann, 2009).

O processo de integração dos princípios da Ergonomia num sistema de produção, visa otimizar o seu funcionamento. De preferência, a intervenção ergonómica deve ocorrer na fase de projecto do local de trabalho. No entanto, a necessidade de mudar o *layout* do local de trabalho ou o facto de o trabalhador detectar na sua actividade alguma incompatibilidade à execução da sua tarefa, leva a intervenções ergonómicas de redesenho, numa base contínua. Em ambos os casos, as metodologias de análise ergonómica do trabalho devem considerar as necessidades da população alvo. Naturalmente, o projecto deve ser orientado por princípios de ergonomia e pela legislação aplicável. Estes são referenciais fundamentais e deverá ser onde se enquadra a análise ergonómica (Nunes e Machado, 2007).

## **2.7. *Lean Six Sigma* e Ergonomia**

A Ergonomia pretende maximizar a eficiência dos recursos humanos, assegurando a sua segurança, minimizar a exposição a factores de risco por falta de adequação ergonómica e obter proactivamente um programa de melhoria continua na fase inicial de qualquer actividade de concepção, ou quando ocorrem alterações no fluxo de produtos ou processos (Smyth, 2003). Por outro lado, a implementação de paradigmas de produção, como a produção *Lean*, que reduzem os tempos de ciclo de trabalho e a variedade de tarefas tendem a aumentar a tensão fisiológica e psicológica dos trabalhadores. Deste modo, para evitar problemas de saúde e de segurança para os trabalhadores e custos para as organizações (devidos, por exemplo, ao aumento de erros, à perda de produtividade, ao aumento do absentismo ou a indemnização aos trabalhadores) torna-se fundamental a integração dos aspectos relacionados com os factores humanos aquando da implementação destas abordagens (Nunes e Machado, 2007).

O desempenho das organizações é pautado pela gestão das interacções complexas de pessoas, materiais, equipamento e recursos (Arnheiter e Maleyeff, 2005); sendo que o desempenho das pessoas tem um papel importante na eficácia das organizações (Shoaf, Genaidy, Karwowski e Huang, 2004).

A Ergonomia tem como objectivo compreender as interacções entre o homem e os outros elementos do sistema para otimizar o bem-estar dos trabalhadores e o desempenho global do sistema (IEA Council, 2000). Segundo Dul e Neumann (2009) para além do objectivo social e do bem-estar dos trabalhadores, a Ergonomia tem também um objectivo económico, que corresponde ao desempenho global da organização. Por outro lado, os gestores associam a Ergonomia à Segurança e saúde ocupacionais e respectiva legislação, não a associando ao desempenho organizacional. De modo a que a Ergonomia seja contemplada nas organizações é necessário haver uma transição do paradigma

Ergonomia/saúde para o paradigma Ergonomia organizacional sem perder de vista os objectivos relacionados com a saúde e segurança no trabalho (Dul e Neumann, 2009).

A negligência da Ergonomia nos sistemas produtivos pode comprometer o desempenho e causar doenças músculo-esqueléticas, o que pode significar um elevado custo para a sociedade, as organizações e para o trabalhador afectado (Neumann, 2004). Em ambientes *Lean*, a intensificação das exigências das tarefas e a diminuição de factores que permitem obter sucesso no desempenho das mesmas (variedade das tarefas, segurança dos trabalhadores, incentivos financeiros, desenvolvimento e utilização da perícia e conhecimento dos trabalhadores e conhecimento do desempenho organizacional) podem comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores (Genaidy e Karwowski, 2003).

Por outro lado e numa situação ideal, a implementação da filosofia *Six Sigma*, do ciclo DMAIC e das ferramentas *Lean* deve ser feita em simultâneo para que a organização alcance níveis elevados de desempenho dos processos e melhorias significativas na mesma (Montgomery e Woodall, 2008). As organizações que seguem as filosofias *Lean* e *Six Sigma* têm focado os seus esforços na optimização do desempenho dos processos, ignorando por vezes os seus efeitos sobre os trabalhadores (Shoaf, Genaidy, Karwowski e Huang, 2004). No entanto, a correcta implementação do *Lean* requer uma intervenção eficiente da Ergonomia (Walder, Karlin e Kerk, 2007).

Da revisão da literatura efectuada foi possível identificar vários estudos que apresentam metodologias e ferramentas que integram o *Lean* e a Ergonomia. Por exemplo, um estudo de (Smyth, 2003) apresenta duas metodologias *Lean*, o *Process Activity Mapping* e o *Line Balancing*, que possibilitam identificar e eliminar factores de risco por falta de adequação ergonómica. Num outro trabalho é explorada uma estratégia de aplicação de três ferramentas de rastreio (Questionário *Demand-Energizer*, Questionário de Sintomas Músculo-Esqueléticos e Questionário de Sintomas de *Stress*) com o objectivo de encontrar a compatibilidade entre as capacidades dos trabalhadores e as exigências laborais, contribuindo deste modo para melhorar a qualidade ergonómica de ambientes *Lean* (Correia *et al.*, 2010). Também Wilson (2005) apresenta um caso de estudo que analisa um processo onde são movimentadas paletes, através do *Motion Time Method* de forma a serem identificados movimentos excessivos (desperdício) e posteriormente indicadas recomendações. O mesmo autor considera a Ergonomia como uma ferramenta adicional do *Lean* capaz de reduzir desperdícios e criar valor nas organizações. Nunes e Machado (2007) referem a importância da utilização de ferramentas de apoio à decisão, nomeadamente métodos ergonómicos de avaliação de risco e simulação baseada em computador, respectivamente ERGO\_X e SAMMIE, que contribuem para a concepção de sistemas de produção *Lean* permitindo a aplicação e integração de princípios ergonómicos.

## 2.8. Sistemas Periciais

Nas organizações, quando há uma decisão complexa a tomar ou um problema para resolver, são geralmente especialistas, com conhecimento específico e experiência na área a resolver estas questões. Estes especialistas estão a par de alternativas, de hipóteses de sucesso e os custos que podem estar associados à resolução dos problemas. Os sistemas periciais são uma tentativa de recriar as acções dos especialistas (Turban, 1998). São programas de computador capazes de representar e raciocinar com conhecimento de um ou mais peritos na matéria, visando a resolução de problemas (Jackson, 1999). Tipicamente são sistemas de tomada de decisão e/ou de resolução de problemas que conseguem atingir um nível de desempenho comparável, ou mesmo excedendo, a um especialista humano em algumas áreas específicas (Turban, 1998). Tais sistemas são também conhecidos como sistemas de apoio à decisão, e são uma classe específica de sistemas de informação computadorizados que suportam as actividades de tomada de decisão (Nunes e Machado, 2007).

Os sistemas periciais têm sido utilizados em várias áreas desde o seu aparecimento: começaram por ser meros solucionadores de problemas e com o avanço da investigação em Inteligência Artificial, para além de solucionarem problemas procuravam também representar o conhecimento num domínio restrito, por exemplo, a investigação para a utilização de sistemas periciais em ambientes de tempo real (Alves, 2005). A Tabela 3 apresenta algumas características diferenciadoras dos sistemas convencionais e periciais.

Jackson e Palma dos Reis citados por Alves (2005) referem que existe um conjunto de especificações equivalentes à definição destes sistemas:

- É um programa de computador que se comporta como um perito humano;
- Possui conhecimento, de um ou vários peritos;
- Resolve problemas numa área de conhecimento específica;
- Aplica conhecimento especializado à resolução de problemas;
- Tem a capacidade de explicar o seu raciocínio para a decisão tomada;
- Pode cumprir completamente uma função que normalmente requer um especialista humano ou pode ser um assistente para o decisor humano.

**Tabela 3 – Comparação entre sistemas convencionais e sistemas periciais** (adaptado de Turban e Aronson, 2001)

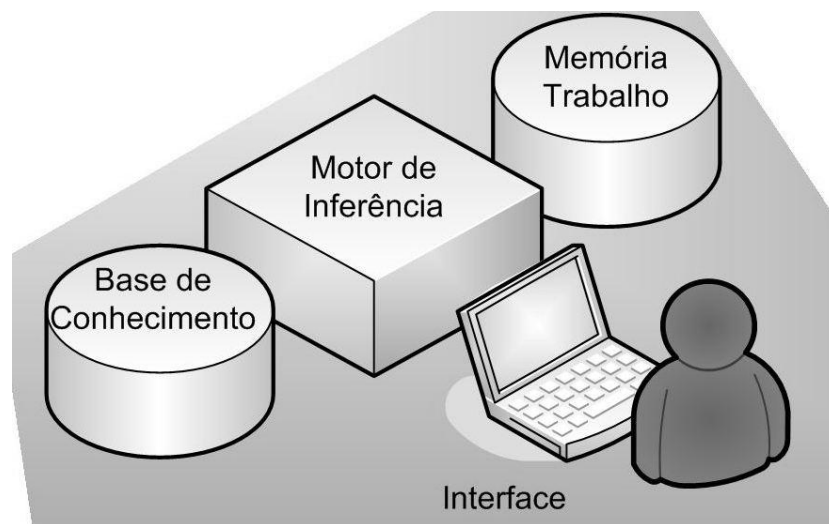
Convencionais	Periciais
A informação e o seu processamento são normalmente combinados num programa sequencial	A base de conhecimento é claramente separada do mecanismo de processamento (inferência), isto é, as regras de conhecimento são separadas do controlo
O programa não comete erros (os programadores ou os utilizadores sim)	É falível
Normalmente, não explica porque necessita dos dados ou das conclusões	Explicação faz parte dos sistemas Periciais
Requer a totalidade dos dados	Não requer a totalidade dos factos iniciais, podendo chegar a conclusões razoáveis sem a totalidade dos factos
Mudanças no programa são tediosas	Mudanças nas regras são fáceis
Sistema só funciona quando está completo	Pode funcionar somente com algumas regras
Execução é efectuada passo a passo	Execuções são efectuadas utilizando heurísticas e lógica
Manipulação efectiva de grandes bases de dados	Manipulação de bases de conhecimento
Representação e utilização de dados	Representação e utilização de conhecimento
Eficiência é normalmente o principal objectivo	Eficácia é o maior objectivo
Facilidade no tratamento de dados quantitativos	Facilidade no tratamento de dados qualitativos
Utiliza representação numérica dos dados	Utiliza representação simbólica e numérica do conhecimento
Captura, aumenta e distribui acesso a dados numéricos ou informação	Captura, aumenta e distribui acesso a decisões e conhecimento

Um sistema pericial opera como um sistema interactivo de forma a responder a questões, fazer recomendações e geralmente ajudar o processo de decisão. Este tipo de sistemas é organizado em quatro níveis distintos (Figura 4) (Turban, 1998; Turban e Aronson, 1998):

- Base de conhecimento – é o cerne da estrutura do sistema pericial; Engenheiros do conhecimento traduzem o conhecimento de especialistas humanos em regras ou estratégias de modo a recomendar direcções ou decisões geralmente armazenadas sob a forma de regras *IF THEN*; a base de conhecimento contém dois tipos de conhecimento, o factual (tipicamente

encontrado em livros ou artigos de revistas científicas) e o heurístico (corresponde a boas práticas, bom senso e raciocínio plausível no terreno);

- Memória de Trabalho – contém a descrição do problema inicial e regista os resultados intermédios e as decisões, guardando em memória tudo aquilo que é relevante sobre as operações de inferência realizadas;
- Motor de Inferência – realiza inferência sobre o conhecimento existente na base de conhecimento relativamente aos dados existentes na memória de trabalho e, com base nas regras de inferência, formula conclusões e recomendações;
- Interface – permite ao utilizador aceder ao sistema.



**Figura 4** – Componentes de um sistema de apoio à decisão (adaptado de Nunes, 2009)

## 2.9. SAMMIE - Human CAD

A concepção de um posto de trabalho é um processo iterativo que geralmente requer a simulação e/ou protótipos das soluções consideradas. Hoje em dia, é muito comum o uso de aplicações CAD para acelerar o processo de concepção e reduzir custos. O CAD permite uma intervenção mais precoce e mais eficaz dos responsáveis pela concepção, pois o seu trabalho não tem de esperar pela fase de prototipagem. A solução de *design* ideal seria obtida através da integração da ergonomia, em conjunto com a engenharia, tendo em mente criar *layouts* de trabalho que levem em conta as características e limitações das pessoas (Nunes e Machado, 2007).



Sistemas CAD ergonómicos fornecem capacidades úteis à concepção de postos de trabalho, o que representa uma maior contribuição para o desenho de sistemas produtivos *Lean*, permitindo a aplicação e integração de princípios de ergonomia, numa fase inicial de planeamento e desenho (Nunes e Machado, 2007).

O *software* SAMMIE é um *Human CAD* valioso para as equipas de design que elaboram produtos ou postos de trabalho de modo a que estes se adequem aos trabalhadores. Pode oferecer várias vantagens como a análise 3D da postura, do alcance e da visão, integração de princípios ergonómicos numa fase inicial (desde a etapa de concepção, diminuindo custos e modificações inviáveis tardiamente), redução à escala de todo o sistema produtivo, desenho rápido e interativo (suporta uma análise 3D de tarefas complexas), visualização do processo facilitada (obtendo-se manequins que simulam qualquer idade, sexo, nacionalidade e forma corporal). Relativamente às questões ergonómicas, podem ser investigadas através do processo de *design*, promovendo a filosofia “fazer bem à primeira” (SAMMIE 2004). As aplicações HUMAN-CAD apresentam as vantagens de acelerar o processo de concepção e reduzir custos (Nunes e Machado, 2007).

As áreas de aplicação do SAMMIE incluem o *design* e *layout* de equipamento em áreas públicas, escritórios e casas particulares, interiores de veículos, design de painéis de controlo, avaliações ergonómicas e de segurança, etc. (SAMMIE, 2004).



## Capítulo 3 – Metodologia

Neste capítulo é apresentada a metodologia criada no contexto do presente trabalho, DMAIC<sup>+ERG</sup>, bem como uma ferramenta desenvolvida, que pode ser aplicada na fase *analyze* do ciclo ou individualmente, que se designa plus<sup>ERG</sup>. É também realizada a simulação de um processo produtivo para avaliar a eficácia da metodologia e respectiva ferramenta.

### 3.1. DMAIC<sup>+ERG</sup>

A metodologia proposta neste estudo designa-se Ciclo DMAIC<sup>+ERG</sup>, que com base num processo de melhoria contínua, permite incluir os princípios ergonómicos nas diferentes etapas do Ciclo DMAIC aquando da implementação *Lean Six Sigma*, com intuito de otimizar a eficiência dos sistemas produtivos não comprometendo a saúde dos trabalhadores.

A Figura 5 apresenta os diferentes níveis da abordagem *Lean Six Sigma* + Ergonomia, onde o topo representa o objectivo desta abordagem e que corresponde à eficiência dos sistemas produtivos, contemplado a Ergonomia; o nível seguinte considera a metodologia DMAIC<sup>+ERG</sup> (DMAIC + Ergonomia), como meio das organizações implementarem a melhoria contínua, seguindo as filosofias *Lean e Six Sigma* e os princípios ergonómicos.

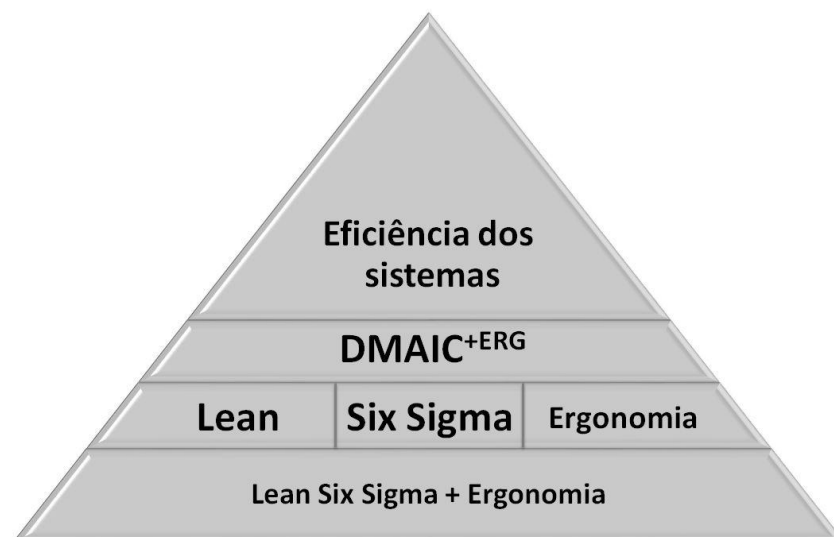
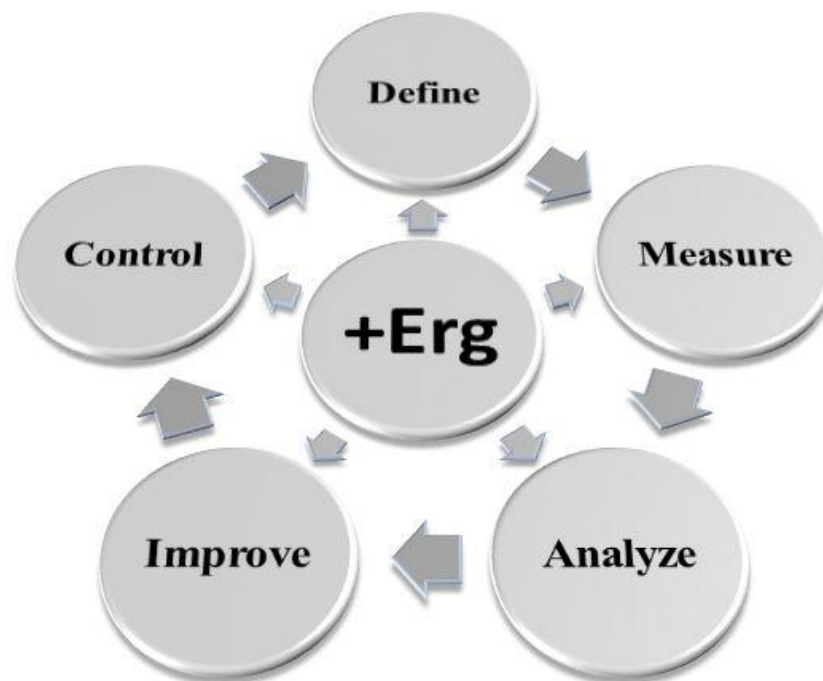


Figura 5 – Pirâmide *Lean Six Sigma* + Ergonomia

A Figura 6 representa a conceptualização do objectivo da metodologia proposta neste trabalho, isto é, a integração da Ergonomia na concepção de sistemas *Lean Six Sigma* e exemplos das ferramentas usadas nas diferentes fases da análise ergonómica e implementação e operações da produção *Lean*. Paralelamente a este trabalho foi desenvolvida a vertente relativa à Segurança Ocupacional, tendo sido objecto de publicação e de apresentação no 4º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade de 2012 (Nunes, Gouveia, Figueira e Machado, 2012), a qual se apresenta no Anexo 1.

A Figura 7 apresenta a metodologia proposta neste trabalho, que como já referido se designou por Ciclo DMAIC<sup>+ERG</sup> e corresponde à integração da Ergonomia em cada uma das etapas do ciclo DMAIC.



**Figura 6 – DMAIC<sup>+ERG</sup>**

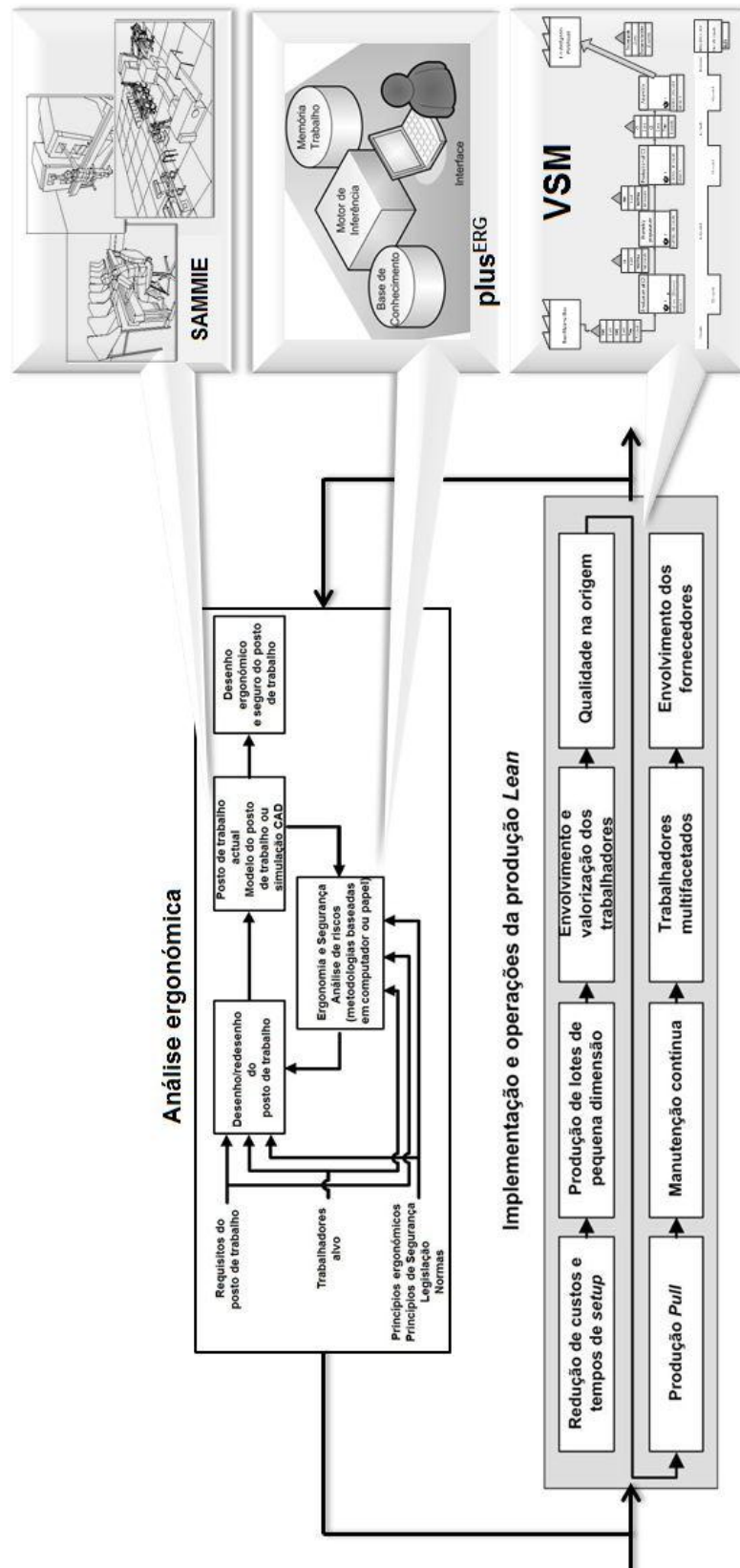


Figura 7 – DMAIC<sup>+ERG</sup> - Modelo conceptual da metodologia proposta (adaptado de Nunes e Machado, 2007)

Com a metodologia DMAIC<sup>+ERG</sup> pretende incluir-se em cada uma das etapas do ciclo princípios de Ergonomia. Assim na etapa:

1. *Define* – definir a oportunidade de melhoria de um projecto. Os objectivos e requisitos (produtivos e ergonómicos) da organização e dos clientes, que podem ser externos ou internos à mesma, são definidos.

2. *Measure* – seleccionar métricas produtivas e ergonómicas para caracterizar os outputs. Gerir a recolha dos outputs e desenvolver e validar um sistema de medição. As Tabelas 4 e 5 apresentam exemplos de métricas produtivas e ergonómicas respectivamente.

**Tabela 4 – Exemplos de métricas produtivas**

<b>Métricas Produtivas</b>	<b>Descrição da métrica</b>
<i>Process cycle efficiency</i> (PCE) <sup>①</sup>	Tempo de valor acrescentado/ <i>Lead time</i> * 100
<i>Lead time</i> <sup>①</sup>	Tempo de ciclo de um determinado processo
Nível do <i>work-in-process</i> <sup>①</sup>	Quantidade de trabalho, avaliado pelo número de peças, quantidade de pessoas, ou outros, que entraram no sistema/processo mas que ainda não saíram
Tempo <i>takt</i> <sup>①</sup>	Razão entre o tempo disponível para a produção e o número estimado de unidades a produzir
Tempo de <i>Setup</i> <sup>① ③</sup>	Tempo de preparação antes do início de um determinado processo
Tempo de valor não acrescentado <sup>① ②</sup>	Soma dos tempos de actividades de VNA
Variação da procura <sup>①</sup>	Variação da procura de uma determinada actividade ou processo em função da hora do dia, ou do dia da semana ou do mês

① (El-Haik e Roy, 2005) ② (Kilpatrick, 2003) ③ (Walder, Karlin e Kerk, 2007)

**Tabela 5 – Exemplos de métricas ergonómicas**

<b>Métricas ergonómicas</b>	<b>Descrição da métrica</b>
Número de lesões <sup>②</sup>	Número de lesões registadas num determinado departamento durante o período em estudo
Número de dias perdidos <sup>②</sup>	Número de dias perdidos resultantes de uma lesão durante o período em estudo
Absentismo por 100 trabalhadores <sup>②</sup>	Número de dias que os trabalhadores de um determinado departamento estiveram ausentes durante o período em estudo
Questionário do nível de conforto <sup>②</sup>	Nível médio empírico de conforto com base num questionário
Questionário do nível de fadiga <sup>② ④</sup>	Nível médio empírico de fadiga com base num questionário (Anexo 3)
Posturas inadequadas <sup>①</sup>	Critérios do método RULA (Anexo 2)
Repetição de posturas inadequadas <sup>③</sup>	Repetição de posturas inadequadas que ocorram 2 ou mais vezes por minuto
Nível de força <sup>①</sup>	Critérios do método RULA (Anexo 2)
① (McAtamney e Corlett, 1993) ② (Burke, 1998) ③ (CEN, 1998) ④ (Couto, 1995)	

3. *Analyze* – identificar e analisar as causas dos problemas relacionados com o desempenho da organização, bem como os ligados à saúde e segurança dos trabalhadores.

Nesta etapa propõe-se que sejam utilizadas as ferramentas: VSM, SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>. O plus<sup>ERG</sup> foi desenvolvido no âmbito deste trabalho e baseia-se em regras IF THEN, que nesta fase são usadas para identificar situações que não estão de acordo com a legislação e/ou princípios ou boas práticas de Ergonomia, que sejam originadas pela implementação do *Lean Six Sigma*, fornecendo uma avaliação do grau de gravidade do problema.

4. *Improve* – através de reuniões com a equipa envolvida no processo, avaliar possíveis soluções alternativas, seleccionar a solução mais adequada e implementá-la. As possíveis soluções são identificadas com base nas causas nucleares analisadas na etapa *Analyze*.

Em caso de possíveis alterações do posto de trabalho, as etapas *Analyze* e *Improve* deverão ser repetidas.

5. *Control* – Documentar e monitorizar as soluções implementadas e desenvolver planos de contingência caso o processo se encontre fora de controlo.

### 3.2. plus<sup>ERG</sup>

O plus<sup>ERG</sup> é um sistema de apoio à decisão concebido com o objectivo de apoiar a inclusão da Ergonomia e dos seus princípios na metodologia *Lean Six Sigma* de forma a optimizar o desempenho dos recursos humanos, fornecendo recomendações, pelo que se pode classificar como sistema pericial. O sistema pode suportar todas as fases da metodologia DMAIC<sup>+ERG</sup> ou pode ser usado como ferramenta independente.

O plus<sup>ERG</sup> abrange quatro áreas de intervenção ergonómicas: manuseamento manual de cargas (MMC), posturas, trabalho com equipamentos dotados de visor e ritmo de trabalho. O plus<sup>ERG</sup> é um sistema pericial, pelo que se apresenta a construção da sua base de conhecimento (BC) e do seu motor de inferência (MI).

#### Base de conhecimento

A BC do plus<sup>ERG</sup> foi construída com base na literatura, na legislação, nas normas e no conhecimento empírico e a sua estrutura está ilustrada na Figura 8, onde a cada área de intervenção está associado um conjunto de atributos, compostos por duas ou três classes e a correspondência entre atributo e classe origina uma causa. Cada causa será classificada e posteriormente é apresentado ao utilizador um conjunto de recomendações. Na Tabela 6 apresentam-se as áreas de intervenção ergonómica e respectivos atributos.



Figura 9 – Estrutura da base de conhecimento



Tabela 6 – plus<sup>ERG</sup> - Áreas de intervenção ergonómica e respectivos atributos

Área de intervenção	Atributos
Manuseamento manual de carga <sup>1 2 6</sup>	Frequência do manuseamento <sup>1 2 6</sup>
	Peso manuseado <sup>1 6</sup>
	Distância de deslocação da carga manuseada <sup>1 2 6</sup>
	Manuseamento da carga <sup>1 6</sup>
	Características exteriores da carga <sup>1 6</sup>
	Movimentos bruscos com utilização de força excessiva <sup>1 2 6</sup>
	Manuseamento da carga só com uma mão <sup>1 2 6</sup>
Posturas <sup>2 3 7 8</sup>	Postura com flexão ou extensão do pescoço <sup>2 3 7 8</sup>
	Posturas assimétricas e com rotação da cabeça <sup>2 3 8</sup>
	Postura com flexão ou extensão do tronco <sup>2 3 7 8</sup>
	Posturas assimétricas e com rotação do tronco <sup>2 3 8</sup>
	Elevação dos membros superiores acima do nível do coração <sup>2 3 7 8</sup>
	Actividades com os braços fora da zona normal de trabalho <sup>2 3 8</sup>
	Rotação dos antebraços <sup>2 3 8</sup>
	Posição não neutra do punho <sup>2 3 7 8</sup>
	Preensão com mão em pinça <sup>2 3 8</sup>
	Agarrar com dedos flectidos <sup>2 3 8</sup>
Trabalho com equipamentos dotados de visor <sup>4</sup>	Utilização do visor <sup>4</sup>
	Visor orientável e inclinável <sup>4</sup>
	Caracteres do visor bem definidos <sup>4</sup>
	Imagem do visor <sup>4</sup>
	Iluminância e/ou contraste do visor adequados <sup>4</sup>
	Visor isento de reflexos ou reverberações <sup>4</sup>
	Inclinação do teclado <sup>4</sup>
	Teclado apresenta uma superfície baixa, teclas legíveis e com disposição adequada <sup>4</sup>
	Utilização do rato <sup>4</sup>
	Formato e tamanho do rato <sup>4</sup>
	Tapete do rato com apoio para o punho <sup>4</sup>
	Suporte de documentos estável e regulável <sup>4</sup>
	Usabilidade do <i>software</i> <sup>4</sup>
	Superfície de trabalho <sup>4</sup>
Ritmo de trabalho <sup>5</sup>	Tipo de trabalho <sup>5 2</sup>
	O ritmo de trabalho é imposto pelo operador <sup>5 2</sup>
	Exigência das tarefas <sup>5 2</sup>

- <sup>1</sup> (OSHAa, 2008) <sup>2</sup> (Dul e Weerdmeester, 2001) <sup>3</sup> (Nunes, 2006) <sup>4</sup> (OSHAb, 2008)  
<sup>5</sup> (OSHAc, 2008) <sup>6</sup> (DL330/1993) <sup>7</sup> (McAtamney e Corlett, 1993) <sup>8</sup> (CEN, 1998)

Relativamente à área de intervenção ergonómica “MMC” foram identificados sete atributos, a Tabela 7 apresenta as classes de cada um desses atributos e a respectiva classificação proposta.

Para classificar o atributo “frequência do manuseamento”, foi necessário ter em conta o peso da carga e o esforço que o operador tem de fazer, isto é, quanto mais pesada a carga, maior o esforço dispendido pelo mesmo. Considera-se frequente se existirem dois ou mais manuseamentos e a sua classificação é “grave”.

No que diz respeito ao “peso manuseado”, cargas com menos de 20 Kg não apresentam, em princípio, quaisquer problemas ao operador, mas com mais de 20 Kg é necessário tomar algumas precauções. Uma carga com mais de 30 Kg nunca pode ser transportada por um só operador, pelo que se adoptou a seguinte classificação: a classe menos de 20 Kg foi classificada como “nada grave”, a de mais de 20 Kg como “grave” e a de mais de 30 Kg, “muito grave”.

Relativamente à “distância de deslocação da carga manuseada”, considera-se uma distância de adequada quando se trata de uma distância curta, ou seja, que não obrigue o operador a percorrer uma distância que exija demasiado esforço físico. Uma distância de deslocação da carga manuseada adequada tem a classificação “nada grave”, enquanto que uma distância inadequada tem a classificação “grave”.

Quanto aos atributos “manuseamento da carga” e “característica exterior da carga”, a movimentação manual de uma carga pode apresentar um risco, nomeadamente dorso-lombar, nos seguintes casos: carga demasiado pesada ou demasiado grande, carga muito volumosa ou difícil de agarrar, carga em equilíbrio instável ou com conteúdo sujeito a deslocações, carga colocada de tal modo que deva ser mantida ou manipulada à distância do tronco ou com flexão ou torção do tronco, carga susceptível, devido ao seu aspecto exterior e/ou à sua consistência, de provocar lesões no trabalhador, nomeadamente em caso de choque. As causas “manuseamento da carga fácil” e “característica exterior da carga não causa dano”, têm a classificação “nada grave”, ao passo que as causas “manuseamento da carga difícil” e “característica exterior da carga causa dano” sugere-se que tenham a classificação “grave”.

Os atributos “movimentos bruscos com utilização de força excessiva” e “manuseamento da carga só com uma mão” são movimentos que não deverão ocorrer. É necessário que operador receba formação adequada e informações precisas sobre a movimentação correcta de cargas. Este tipo de movimentos pode causar picos de *stress* que podem afectar o trabalhador, logo, se ocorrerem ocasionalmente, tanto

um como o outro, propõe-se a classificação “grave” e se ocorrerem mais do que uma vez (frequente) a classificação será “muito grave”.

**Tabela 7 – BC - Área de intervenção ergonómica MMC**

<b>Causas</b>		<b>Classificação das classes</b>
<b>Atributos</b>	<b>Classes</b>	
<b>Frequência do manuseamento</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Peso manuseado</b>	<20Kg	Nada grave
	>20Kg	Grave
	>30Kg	Muito grave
<b>Distância de deslocação da carga manuseada</b>	Adequada	Nada grave
	Inadequada	Grave
<b>Manuseamento da carga</b>	Fácil	Nada grave
	Difícil	Grave
<b>Característica exterior da carga</b>	Não causa dano	Nada grave
	Causa dano	Grave
<b>Movimentos bruscos com utilização de força excessiva</b>	Ocasionais	Grave
	Frequentes	Muito grave
<b>Manuseamento da carga só com uma mão</b>	Ocasional	Grave
	Frequente	Muito grave

No que diz respeito à área de intervenção ergonómica “posturas”, foram identificados dez atributos que se encontram na Tabela 8, juntamente com as classes e respectivas classificações.

Relativamente às posturas inadequadas do pescoço, tronco e punho, há que considerar vários aspectos. Considera-se uma postura inadequada do pescoço quando este efectua um movimento de flexão maior que 20°, de extensão, ou quando se verificam posturas assimétricas e com rotação da cabeça. Considera-se uma postura inadequada do tronco quando este se encontra flectido mais de 60°, em extensão, ou numa posição assimétrica e com rotação. Uma posição não neutra do punho é uma posição de 15° em flexão ou extensão ou qualquer posição com adução ou abdução do mesmo.

Quanto à frequência das posturas inadequadas (flexão ou extensão, mão em pinça, dedos flectidos, rotação dos antebraços ou elevação dos membros superiores acima do nível do coração), consideram-se frequentes quando estas são repetidas duas ou mais vezes por minuto.

Em relação às actividades fora da zona normal de trabalho, são aquelas que obriguem o operador a adoptar uma posição não neutra do tronco, ou seja, que exija os braços em extensão e a flexão do tronco.

Relativamente à classificação das causas referentes à área de intervenção ergonómica “posturas”, anteriormente mencionadas, todas as que ocorrem ocasionalmente sugere-se que tenham a classificação “nada grave” e todas aquelas que sejam frequentes uma classificação “grave”.

**Tabela 8 – BC - Área de intervenção ergonómica posturas**

<b>Causas</b>		<b>Classificação das classes</b>
<b>Atributos</b>	<b>Classes</b>	
<b>Postura com flexão ou extensão do pescoço</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Posturas assimétricas e com rotação da cabeça</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Postura com flexão ou extensão do tronco</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Posturas assimétricas e com rotação do tronco</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Elevação dos membros superiores acima do nível do coração</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Actividades com os braços fora da zona normal de trabalho</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Rotação dos antebraços</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Posição não neutra do punho</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Preensão de mão em pinça</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave
<b>Agarrar com dedos flectidos</b>	Ocasional	Nada grave
	Frequente	Grave

A Tabela 9 apresenta as classes de cada um dos catorze atributos identificados e a respectiva classificação relativamente à área de intervenção ergonómica “trabalho com equipamento dotado de visor”.

Relativamente ao monitor, considera-se uma utilização excessiva do mesmo ou do rato, toda aquela que ultrapasse 5 horas diárias. Todos os factores (imagem, caracteres, iluminância, contraste ou

reflexos) que não permitam ao utilizador uma correcta utilização do visor terão de ser corrigidos, bem como a impossibilidade de o ajustar em altura ou profundidade.

Quanto aos restantes periféricos, verificam-se as seguintes necessidades: o teclado necessita de apresentar uma superfície baixa, teclas legíveis e com disposição adequada (com disposição padrão QWERTY), o rato tem que apresentar um tamanho e formato adequados ao operador e é imprescindível a existência de um tapete de rato com apoio para o punho. Relativamente ao suporte de documentos, requer-se que este seja estável e regulável.

Em relação ao *software* e à superfície de trabalho, existem vários aspectos a ter em conta. O *software* utilizado pelo operador tem que estar de acordo com a formação do mesmo, isto é, a usabilidade tem de ser adequada ao nível de conhecimentos e experiência do operador. Uma superfície de trabalho adequada é uma superfície que seja organizada/arrumada, com revestimento que possua uma reflexão de luminosidade diminuta.

Quanto à classificação dos atributos da área de intervenção ergonómica “trabalho com equipamento dotado de visor”, varia entre “nada grave” e “grave” consoante sejam cumpridos, ou não, os requisitos anteriormente referidos.

Na Tabela 10 estão apresentadas as classes de cada um dos três atributos identificados e a respectiva classificação relativamente à área de intervenção ergonómica “ritmo de trabalho”.

Relativamente ao atributo “tipo de trabalho”, entende-se por trabalho monótono um tipo de trabalho cadenciado ou repetitivo, ou seja, é caracterizado como sendo pobre em estímulos ou com poucas variações de estímulos. Sugere-se que este tipo de trabalho tenha uma classificação “grave”, enquanto que um trabalho variado tenha uma classificação “nada grave”.

No que diz respeito ao atributo “o ritmo de trabalho é imposto pelo operador”, quando o ritmo de trabalho é imposto por um factor externo ao operador (máquinas ou prazos), pode causar *stress* ou desgaste físico no mesmo, logo este atributo em conjunto com a classe “não”, terá uma classificação “grave” e com a classe “sim”, terá a classificação “nada grave”.

Por último, quanto ao atributo “exigência das tarefas”, considera-se excessiva a exigência das tarefas, aquelas que não permitam ao operador descansar tempo suficiente, originando cansaço ou exaustão muscular, o que originará um tempo de recuperação prolongado. Quanto à classificação da causa exigência das tarefas excessiva, propõe-se que seja “grave” e se for limitada a sua classificação será “nada grave”.

Tabela 9 – BC - Área de intervenção ergonómica trabalho com equipamento dotado de visor

Causas		Classificação das classes
Atributos	Classes	
Utilização do visor	Limitada	Nada grave
	Excessiva	Grave
Visor orientável e inclinável	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Caracteres do visor bem definidos	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Imagem do visor	Estável	Nada grave
	Instável	Grave
Iluminância e/ou contraste do visor adequados	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Visor isento de reflexos ou reverberações	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Inclinação do teclado	Regulável	Nada grave
	Fixo	Grave
Teclado apresenta uma superfície baixa, teclas legíveis e com disposição adequada	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Utilização do rato	Limitada	Nada grave
	Excessiva	Grave
Formato e tamanho do rato	Adequados	Nada grave
	Inadequados	Grave
Tapete do rato com apoio para o punho	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Suporte de documentos estável e regulável	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Usabilidade do <i>software</i>	Fácil	Nada grave
	Difícil	Grave
Superfície de trabalho	Adequada	Nada grave
	Inadequada	Grave

Tabela 10 – BC - Área de intervenção ergonómica ritmo de trabalho

Causas		Classificação das classes
Atributos	Classes	
Tipo de trabalho	Variado	Nada grave
	Monótono	Grave
O ritmo de trabalho é imposto pelo operador	Sim	Nada grave
	Não	Grave
Exigência das tarefas	Limitada	Nada grave
	Excessiva	Grave

### Motor de inferência

Conforme referido anteriormente, a classificação das classes varia entre “nada grave”, “grave” e “muito grave”, sendo que uma classificação “nada grave” corresponde a uma situação desejável ou aceitável, a “grave” necessita de intervenção na respectiva área ergonómica e numa situação “muito grave”, o posto de trabalho não pode continuar a operar de forma alguma e é, também, necessário agir na área de intervenção ergonómica de modo a que esta situação seja corrigida.

O motor de inferência do plus<sup>ERG</sup> baseia-se em duas regras de produção do tipo IF THEN. A Regra 1 permite classificar a área de intervenção considerando a causa mais grave.

IF	$(at_{1j} \text{ é } classe_1) \text{ AND/OR}$ $(at_{2j} \text{ é } classe_2) \text{ AND/OR}$ ... $(at_{nj} \text{ é } classe_n)$	[1]
THEN	$conclusões_j$	

onde:

$at_{ij}$  – corresponde ao  $i$ -ésimo atributo para a área de intervenção ergonómica  $j$

$classe_n$  – corresponde à classificação do  $n$ -ésimo atributo

$conclusões_j$  – corresponde ao resultado da avaliação do grau de gravidade da situação existente e consequentemente, do grau de prioridade para accionar a área de intervenção ergonómica  $j$

A Regra 2 permite associar às causas graves e muito graves as respectivas recomendações.

IF	$causa_{1j}$ OR ... OR $causa_{mj}$	[2]
THEN	$recomendações_j$	

onde:

$causa_{ij}$  – corresponde ao  $i$ -ésimo factor de risco para a área de intervenção ergonómica  $j$

$recomendações_j$  – corresponde ao conjunto de possíveis soluções a implementar no âmbito da área de intervenção ergonómica  $j$

As Tabelas 11, 12, 13 e 14 apresentam a lista de recomendações que plus<sup>ERG</sup> apresenta ao utilizador, para cada uma das áreas de intervenção ergonómica.



Tabela 11 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica MMC

Causas		Recomendações
Atributos	Classes	
Frequência do manuseamento	Ocasional	--
	Frequente	O MMC deve ser evitado se possível senão as actividades devem ser alternadas com actividades mais leves <sup>①</sup> /mais que um operador a transportar a carga, fornecer carrinho de transporte ou aparelhos mecânicos <sup>①②</sup>
Peso manuseado	<20Kg	--
	>20Kg	Mais que um operador a transportar a carga, fornecer carrinho de transporte ou aparelhos mecânicos <sup>①②</sup>
	>30Kg	Subdividir carga, carrinho de transporte ou aparelhos mecânicos <sup>①②</sup>
Distância da Deslocação da carga manuseada	Adequada	--
	Inadequada	Fornecer equipamento eléctrico ou mecânico de movimentação de cargas, como transportadores ou empilhadores <sup>③</sup> (osha)
Manuseamento da carga	Fácil	--
	Difícil	Fornecer formação relativa a técnicas correctas de manuseamento ou utilização do equipamento <sup>②③</sup> pegas para elevar/transportar cargas e manuseamento da carga junto ao tronco <sup>①</sup>
Característica exterior da carga	Não causa dano	--
	Causa dano	Fornecer formação relativa a técnicas correctas de manuseamento ou utilização do equipamento <sup>①③</sup> e pegas para elevar/transportar cargas <sup>①</sup> informações precisas, relativamente ao centro de gravidade ou ao lado mais pesado, quando o conteúdo de uma embalagem estiver colocado de forma excêntrica <sup>③</sup>
Movimentos bruscos com utilização de força excessiva	Ocasionais	Fornecer formação relativa a técnicas correctas de manuseamento ou utilização do equipamento <sup>①③</sup> e a elevação de cargas deve ocorrer o mínimo de vezes possível de forma uniforme e gradual <sup>①</sup>
	Frequentes	
Manuseamento da carga só com uma mão	Ocasional	Fornecer formação relativa a técnicas correctas de manuseamento ou utilização do equipamento <sup>①③</sup>
	Frequente	

① (Dul e Weerdmeester, 2001) ② (HSE, 2011) ③ (OSHAA, 2008)

Tabela 12 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica posturas

Causas		Recomendações
Atributos	Classes	
Postura com flexão ou extensão do pescoço	Ocasional	--
	Frequente	Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho <sup>1</sup> / Alternar posturas através da rotação de tarefas/trabalhadores - Posturas prolongadas e movimentos repetitivos podem causar lesões nos músculos e articulações <sup>3</sup>
Posturas assimétricas e com rotação da cabeça	Ocasional	--
	Frequente	Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho <sup>1</sup> / Alternar posturas através da rotação de tarefas/trabalhadores - Posturas prolongadas e movimentos repetitivos podem causar lesões nos músculos e articulações <sup>2 3</sup>
Postura com flexão ou extensão do tronco	Ocasional	--
	Frequente	Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho <sup>1</sup> / Alternar posturas através da rotação de tarefas/trabalhadores - Posturas prolongadas e movimentos repetitivos podem causar lesões nos músculos e articulações <sup>2 3</sup>
Posturas assimétricas e com rotação do tronco	Ocasional	--
	Frequente	Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho <sup>1</sup> / Alternar posturas através da rotação de tarefas/trabalhadores - Posturas prolongadas e movimentos repetitivos podem causar lesões nos músculos e articulações <sup>2 3</sup>
Elevação dos membros superiores acima do nível do coração	Ocasional	--
	Frequente	Ajustar o assento em altura, Reposicionar as superfícies de trabalho, Proporcionar suporte para braços para tarefas em posição elevada <sup>1 3</sup>
Actividades com os braços fora da zona normal de trabalho	Ocasional	--
	Frequente	Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho <sup>1</sup>
Rotação dos antebraços	Ocasional	--
	Frequente	Fornecer auxílio de equipamento mecânico <sup>2</sup>
Posição não neutra do	Ocasional	--

<b>punho</b>	Frequente	Fornecer ferramentas com pega inclinada Dul/ Fornecer apoios inclináveis para as peças a trabalhar de modo a evitar a flexão do punho <sup>①</sup>
<b>Preensão de mão em pinça</b>	Ocasional	--
	Frequente	Proporcionar pegas adequadas ao trabalhador e à tarefa / Fornecer auxílio de equipamento mecânico <sup>①</sup>
<b>Agarrar com dedos flectidos</b>	Ocasional	--
	Frequente	Proporcionar pegas adequadas ao trabalhador e à tarefa / Fornecer auxílio de equipamento mecânico <sup>①</sup>

① (Nunes, 2006) ② (Dul e Weerdmeester, 2001) ③ (Miguel, 2004)

Tabela 13 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica trabalho com equipamento dotado de visor

Causas		Recomendações
Atributos	Classes	
<b>Utilização do visor</b>	Limitada	--
	Excessiva	Introduzir pausas cuja frequência e duração dependem da natureza e intensidade da tarefa / Fornecer formação ao trabalhador sobre a utilização do equipamento / Proporcionar exames oftalmológicos periódicos <sup>①</sup>
<b>Visor orientável e inclinável</b>	Sim	--
	Não	Adquirir novo equipamento <sup>①</sup>
<b>Caracteres do visor bem definidos</b>	Sim	--
	Não	Ajustar definições do visor / Adquirir novo equipamento <sup>①</sup>
<b>Imagem do visor</b>	Estável	--
	Instável	Ajustar definições do visor / Adquirir novo equipamento <sup>①</sup>
<b>Iluminância e/ou contraste do visor adequados</b>	Sim	--
	Não	Ajustar definições do visor / Adquirir novo equipamento <sup>①</sup>
<b>Visor isento de reflexos ou reverberações</b>	Sim	--
	Não	Ajustar definições do visor / Adquirir novo equipamento <sup>①</sup>
<b>Inclinação do teclado</b>	Regulável	--
	Fixo	Adquirir um novo teclado <sup>①</sup>
<b>Teclado apresenta uma superfície baixa, teclas legíveis e com disposição adequada</b>	Sim	--
	Não	Adquirir um novo teclado <sup>①</sup>
<b>Utilização do rato</b>	Limitada	--
	Excessiva	Fornecer formação: utilizar o cotovelo e não o punho para mover o rato, não clicar com muita força e ajustar os controlos do rato através do <i>software</i> <sup>②</sup> /alternar com a utilização do teclado utilizando atalhos <sup>③</sup>

<b>Formato e tamanho do rato</b>	Adequados	--
	Inadequados	Adquirir um novo rato ergonómico <sup>2</sup>
<b>Tapete do rato com apoio para o punho</b>	Sim	--
	Não	Adquirir novo tapete de rato com apoio para o punho <sup>2</sup>
<b>Suporte de documentos estável e regulável</b>	Sim	--
	Não	Adquirir um novo suporte de documentos <sup>1</sup>
<b>Usabilidade do <i>software</i></b>	Fácil	--
	Difícil	Formação do utilizador / adquirir novo <i>software</i> que seja de fácil utilização e adaptável ao nível de conhecimentos e experiência do utilizador <sup>2</sup>
<b>Superfície de trabalho</b>	Adequada	--
	Inadequada	Organizar/arrumar os elementos da superfície de trabalho / Revestir a superfície de trabalho de modo a que esta reflecta o mínimo de luminosidade / Adquirir uma nova superfície de trabalho <sup>1</sup>

<sup>1</sup> (OSHAb, 2008) <sup>2</sup> (Nunes, 2010) <sup>3</sup> (Dul e Weerdmeester, 2001)

Tabela 14 – Recomendações relativas à área de intervenção ergonómica ritmo de trabalho

<b>Causas</b>		<b>Recomendações</b>
<b>Atributos</b>	<b>Classes</b>	
<b>Tipo de trabalho</b>	Variado	--
	Monótono	Proporcionar um conjunto variado de tarefas, não repetitivas ou estimulantes, ao trabalhador <sup>1</sup>
<b>O ritmo de trabalho é imposto pelo operador</b>	Sim	--
	Não	Evitar tarefas cujo ritmo de trabalho é imposto por prazos de entrega ou pela velocidade de uma linha de montagem/ rotação de trabalhadores <sup>1</sup>
<b>Exigência das tarefas</b>	Limitada	--
	Excessiva	Proporcionar rotação de trabalhadores / Definir a quantidade e duração das pausas de acordo com as características da tarefa, de modo a permitir a recuperação do trabalhador das doses de carga de trabalho acumuladas <sup>1</sup>

<sup>1</sup> (OSHAc, 2008)

### 3.3. Proof of concept

Para testar o funcionamento da metodologia foi desenvolvido um cenário que foi implementado em laboratório para simular um processo produtivo. O processo produtivo consiste no transporte das matérias-primas 1 e 2 (MP1 e MP2) para a zona de produção; de seguida a MP1 é colocada no torno para produzir a peça 1 (P1); depois o operador desloca-se para a zona de montagem onde realiza a limpeza do PT e prepara-o para a próxima montagem; o operador regressa à zona de produção e aguarda que a P1 esteja concluída para de seguida colocar a MP2 no torno; enquanto a peça 2 (P2) é produzida, o trabalhador aguarda (micro pausa); quando a P2 está concluída, o operador transporta as duas peças para a zona de montagem onde obtém o produto acabado (PA), que é transportado para o armazém.

Com o intuito de identificar as oportunidades de melhoria Lean considerando também os princípios ergonómicos, o DMAIC<sup>+ERG</sup> foi aplicado de forma a analisar o processo produtivo simulado.

#### 3.3.1. Aplicação do ciclo DMAIC<sup>+ERG</sup>

##### Define

**Projecto:** implementação *Lean* e dos princípios ergonómicos ao processo produtivo

**Oportunidade:** possibilidade de aplicação de princípios *Lean* e de princípios ergonómicos

**Objectivo:** reduzir desperdícios preservando a saúde e a segurança do trabalhador

**Requisitos:** satisfação de princípios *Lean* e ergonómicos

##### Measure

Para esta simulação foram seleccionadas as seguintes métricas (*output*) a analisar na etapa *Control*

**Métricas *Lean*:** *lead time* e PCE

**Métricas de Ergonomia:** questionário do nível de fadiga

##### Analyze

**Ferramentas:** VSM, SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>

A Figura 9 apresenta o VSM que permite mapear e representar o processo produtivo da simulação 1 e calcular métricas *Lean* que serão monitorizadas na etapa *Control*. Com o *software* SAMMIE (Figura 10) foi simulado o *layout* do posto de trabalho. As duas ferramentas possibilitam a identificação de

possíveis problemas, a nível produtivo e das posturas do operador, e respectivas causas. A análise efectuada pelo plus<sup>ERG</sup> não identificou quaisquer problemas ergonómicos na configuração inicial do posto de trabalho.

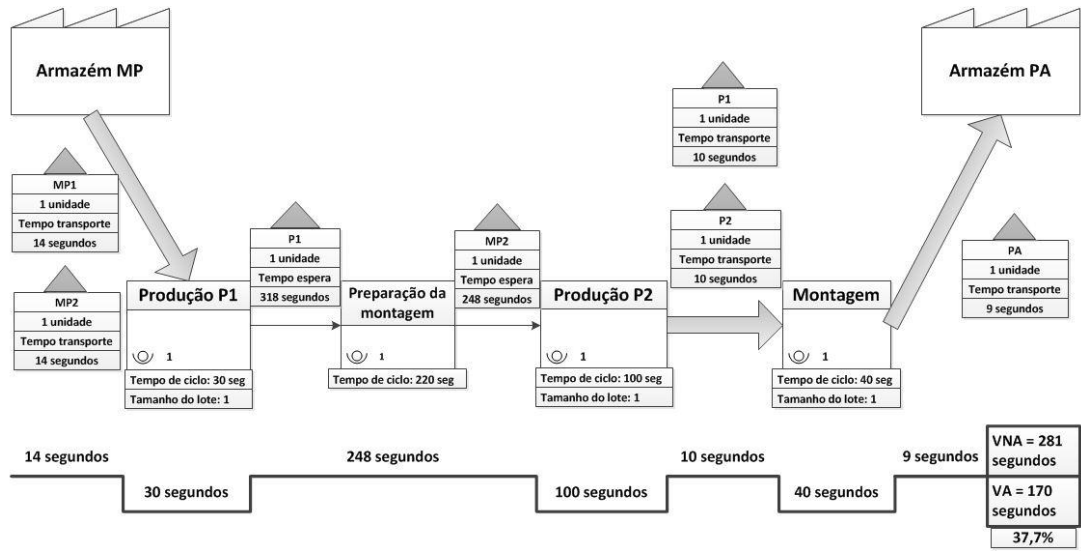


Figura 10 – VSM do processo produtivo

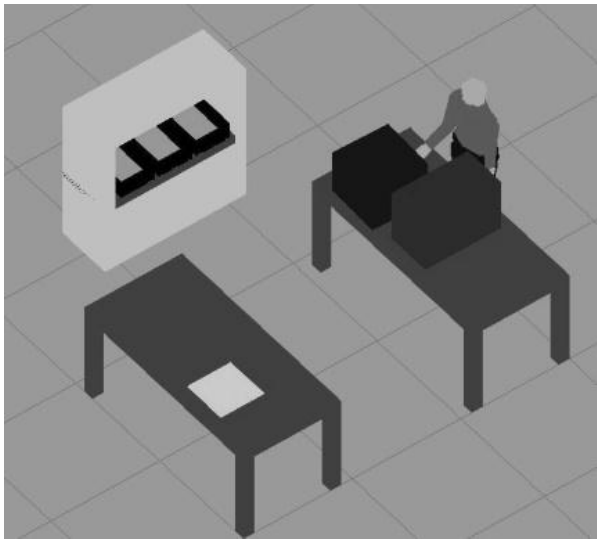


Figura 11 – Layout do posto de trabalho

A Figura 11 ilustra uma das tarefas desempenhadas pelo operador na simulação 1, tanto na situação real como na elaborada no SAMMIE.

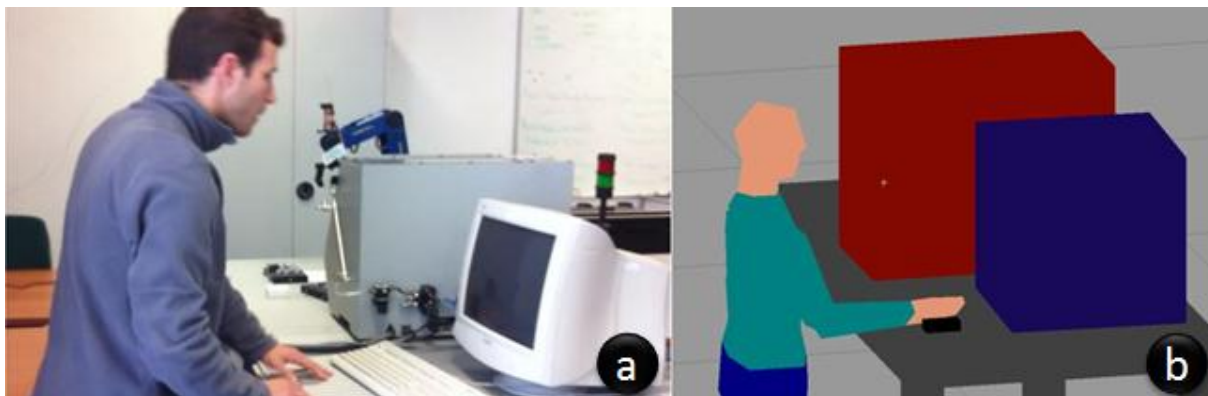


Figura 12 – Tarefa de ligar o torno da simulação 1 (a) Real (b) SAMMIE

**Problemas:** 1) Actividades de VNA de longa duração

**Causas:** 1.1) transporte individual dos materiais com manuseamento manual de cargas, 1.2) zona de montagem afastada da zona de produção, 1.3) armazém de MP afastado da zona de produção e 1.4) tempo de espera entre produção de peças elevado.

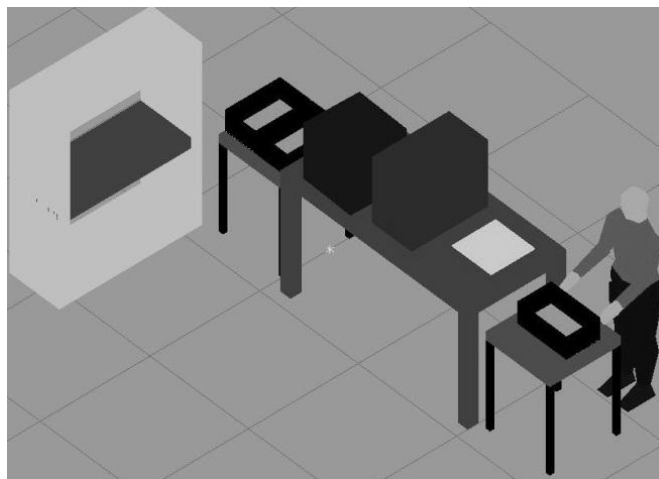
#### Improve

Através da aplicação do VSM e do SAMMIE verificou-se que existiam várias deslocações que não acrescentavam valor ao processo produtivo, bem como elevados tempos de espera. Reuniões com a equipa envolvida no processo permitiram seleccionar e implementar as soluções: transporte de PA em lotes de 10 unidades, alteração do *layout* com a inclusão da zona de montagem próxima do torno, caixas das MP colocadas na zona de produção, armazém apenas de PA e troca da ordem de produção da P1 e P2. Como foram seleccionadas soluções que implicam redesenho do PT e qualquer alteração do *layout* pode envolver custos adicionais e novos problemas podem surgir, então a etapa *Analyze* será repetida, sendo enfatizada uma das principais características desta metodologia que corresponde à melhoria contínua dos processos.

#### Analyze (2ª iteração)

**Ferramentas:** SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>

Através do SAMMIE foi realizada uma nova simulação do processo produtivo já com as soluções implementadas (Figura 12) para verificar se estas eram adequadas.



**Figura 13** – *Layout* do posto de trabalho com soluções implementadas

Com a análise da simulação efectuada no SAMMIE e através da aplicação do plus<sup>ERG</sup> foi identificado um problema relacionado com o transporte de PA para o armazém (MMC). A regra 3 ilustra a forma como o plus<sup>ERG</sup> avalia as condições de trabalho existentes, na perspectiva da área de intervenção ergonómica MMC.

IF	( <i>frequência da movimentação é ocasional</i> ) AND  ( <i>peso manuseado é <math>\geq 30</math> Kg</i> )	[3]
THEN	<i>Inadequabilidade do MMC é muito grave</i>	

Assim, a combinação das duas causas apresentadas na regra 3 resulta numa inadequabilidade do MMC muito grave, o que pode constituir um problema para a saúde e segurança do operador.~

**Problemas:** 1) MMC inadequado

**Causas:** 1.1) caixa de PA com peso superior a 30 Kg

*Improve (2ª iteração)*

Na sequência da análise anteriormente efectuada verificou-se que o MMC era inadequado, dado que o operador tinha que deslocar ocasionalmente cargas com um peso superior a 30 kg. Recorrendo ao plus<sup>ERG</sup> é identificado o conjunto de potenciais soluções com base em recomendações existentes na base de conhecimento. No caso em análise as recomendações são obtidas invocando a seguinte regra:



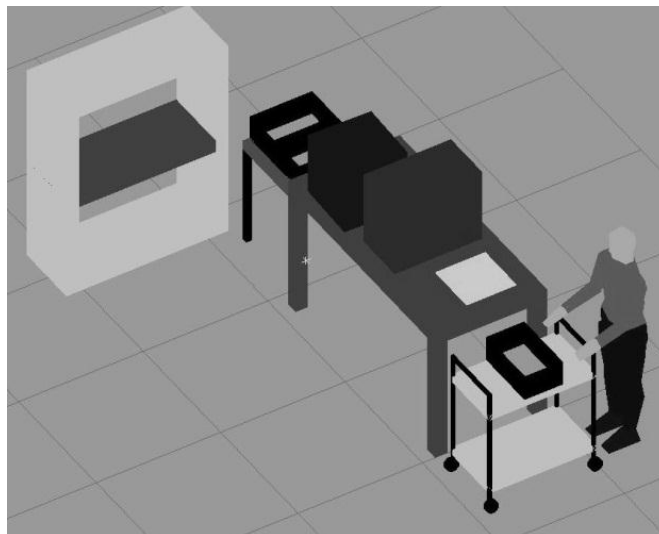
IF	<i>peso manuseado é <math>\geq 30\text{ Kg}</math></i>	
THEN	1) subdividir carga,	[4]
	<b>2) fornecer carrinho de transporte</b>	
	3) fornecer equipamentos mecânicos	

A realização de reuniões com a equipa envolvida no projecto permitiu concluir que a melhor opção seria fornecer um carrinho de transporte, através do qual se elimina o MMC. Mais uma vez será necessário repetir a etapa *Analyze*.

#### Analyze (3ª iteração)

**Ferramentas:** SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>

O processo produtivo foi novamente simulado (simulação 3) através do SAMMIE (Figura 13) e o plus<sup>ERG</sup> aplicado, verificando-se que nenhum problema afecta o sistema, realiza-se assim a etapa *Control*.



**Figura 14** – Layout do posto de trabalho com a recomendação implementada

A Figura 14 ilustra o operador a transportar, no carrinho, o PA para o armazém.

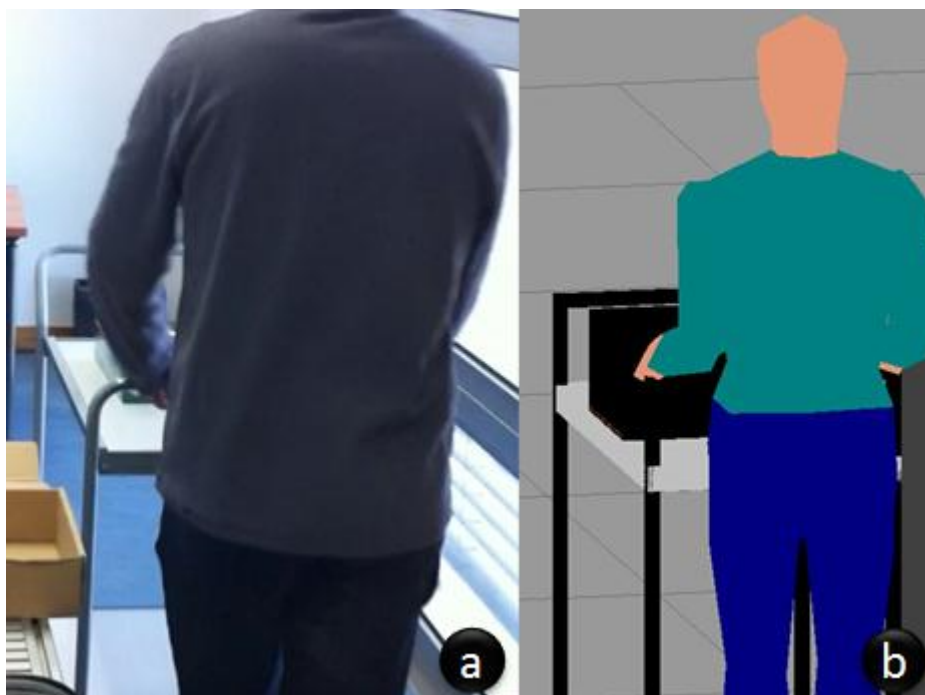


Figura 15 – Transporte de PA no carrinho (a) Real (b) SAMMIE

### Control

Nesta etapa foram documentadas as alterações originadas pela implementação das soluções escolhidas nas diversas etapas *Improve* e, aplicando o VSM (Figura 15), foram calculadas novamente as métricas produtivas.

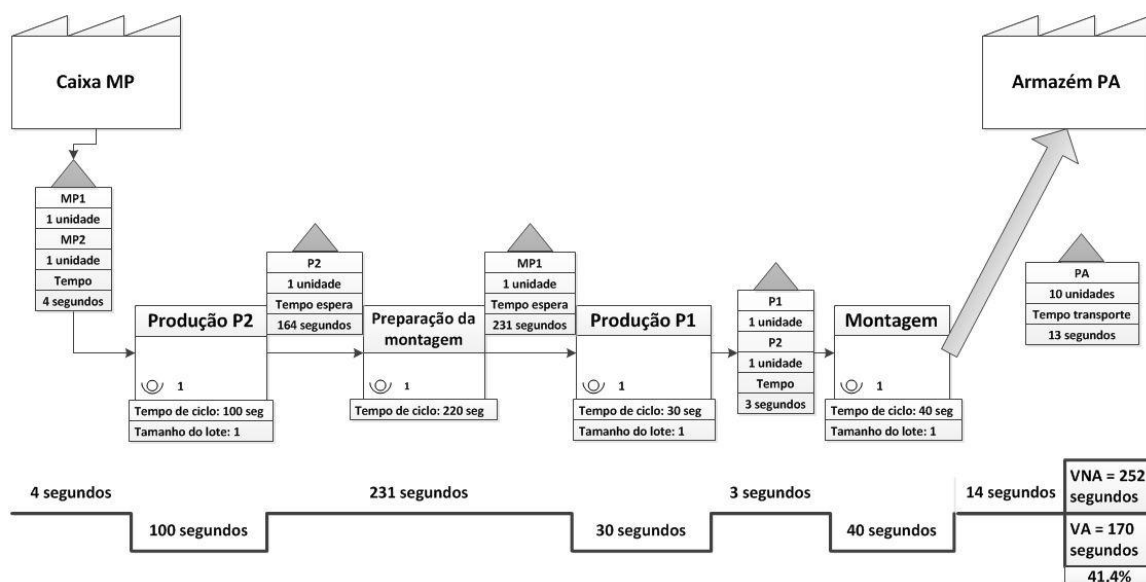


Figura 16 – VSM do processo produtivo com soluções implementadas

Com base na análise das métricas seleccionadas na etapa *Measure*, verificou-se que o *lead time* diminuiu de 70,2 minutos para 51,1 minutos e que o PCE aumentou de 37,7% para 41,4%. A aplicação de um questionário desenvolvido para avaliar o nível de fadiga, efectuada antes e depois da implementação das soluções, permitiu concluir que, com a diminuição de deslocações e com o transporte de 10 unidades de PA utilizando o carrinho, o nível de fadiga do operador tinha diminuído.

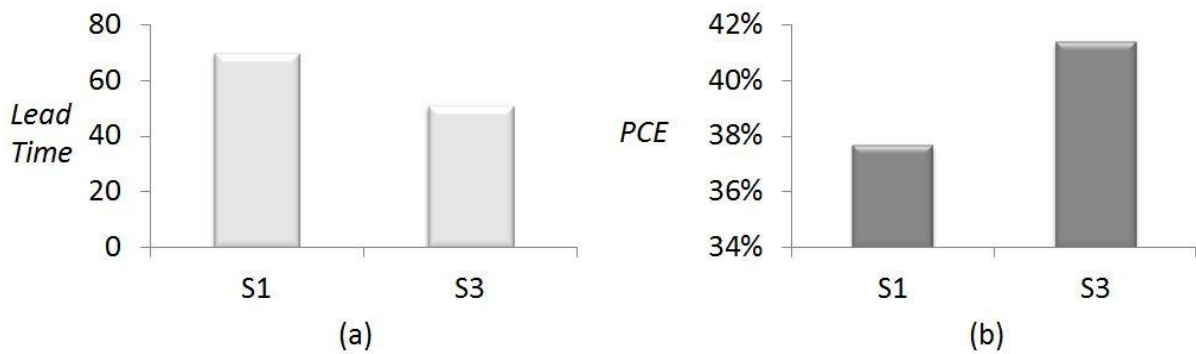
Foi necessário efectuar nesta simulação três iterações da etapa *analyze* mas somente duas da etapa *improve*, visto que na terceira iteração da etapa *analyze* não foi identificado nenhum problema, passando-se de imediato para a etapa final, o *control*.

A Tabela 15 apresenta o resumo dos problemas e práticas implementadas, das melhorias *Lean* e ergonómicas.

**Tabela 15** – Resumo da aplicação da metodologia

	<b>Simulação 1</b>	<b>Simulação 2</b>	<b>Simulação 3</b>
<b>Problemas</b>	▪ VNA ↑	▪ MMC	✓
<b>Práticas implementadas</b>	-	▪ Lotes de 10 PA ▪ Redesenho PT ▪ MP junto ao torno ▪ Armazém de PA ▪ Produção P1 ↔ P2	▪ Carrinho
<b>Melhorias <i>Lean</i></b>	-	▪ <i>Lead time</i> ↓ ▪ VNA ↓	▪ <i>Lead time</i> ↓ ▪ VNA ↓
<b>Melhorias ergonómicas</b>	-	-	▪ Eliminação de MMC

A Figura 16 apresenta graficamente a comparação dos resultados alcançados para a simulação 1 (S1) e para a simulação 3 (S3) com a apresentação dos valores do *lead time* e PCE.



**Figura 17** – Comparação dos resultados do *Lead time* (a) e PCE (b) entre as simulações 1 e 3

Como se pode observar houve uma considerável redução do *lead time* da S1 para a S3 ( $TC_{S1} = 70,2$  minutos e  $TC_{S3} = 51,1$  minutos). O PCE aumenta quando analisamos a S3 comparativamente à S1 ( $VA_{S1} = 37,7\%$  e  $VA_{S3} = 41,4\%$ ). De salientar que com a implementação da simulação 2 seriam alcançadas melhorias *Lean*, no entanto a sua implementação no posto de trabalho (PT) real traria problemas ergonómicos ao nível do MMC, situação que foi identificada com a aplicação do SAMMIE e do plus<sup>ERG</sup>.

Através da simulação apresentada constatou-se os benefícios que a implementação do DMAIC<sup>+ERG</sup> poderiam trazer para as organizações. Sem comprometer o PT real, utilizando o plus<sup>ERG</sup> em conjunto com o SAMMIE e o VSM, foi possível identificar problemas ergonómicos que surgiriam se apenas fossem implementadas soluções *Lean* (simulação 2). Por outro lado, também foram seleccionadas as soluções que não afectaram a saúde do operador e melhoraram o desempenho produtivo ao aumentar a PCE e reduzir o *lead time* e os custos associados à concepção do PT.

## Capítulo 4 – Caso de Estudo

No presente capítulo caracteriza-se a empresa onde foi elaborado o caso de estudo e é apresentada a aplicação da metodologia em três postos de trabalho distintos, assim como a análise dos respectivos resultados.

### 4.1. Caracterização da empresa

O caso de estudo foi realizado num *atelier* de decorações de interiores, “Fátima Neto decorações de interiores Sociedade Unipessoal Lda”, pertencente à categoria de fabricação de artigos têxteis confeccionados, excepto vestuário, situado em Campo de Ourique, Lisboa, com uma área de 90 m<sup>2</sup>. Fundada em 1998, tem crescido ao longo dos anos e é composta por uma equipa de profissionais com formação e experiência na área da confecção de cortinados, estofos e comercialização de tecidos bem como no apoio aos projectos de decoração e *design* de interiores. No total contabilizam-se quatro trabalhadores, que se dividem por três postos de trabalho: montagem de sofás, máquina de costura e trabalho de escritório.

A Figura 17 ilustra a planta do *atelier* com as diferentes áreas que o compõem. O espaço é dividido em várias zonas: zona de montagem dos sofás (1), onde se encontra o compressor de ar e respectivas ferramentas a este associadas (pistola de ar, agrafador, etc.) e outras ferramentas manuais (martelo, serras eléctricas, serrotes, chaves de parafusos, etc.); zona das máquinas de costura (2), onde se encontram duas máquinas de costura, um armário com linhas, tesouras e tecidos e uma calha onde são pendurados os cortinados para fazer baínhas; a zona da mesa de corte (3), mesa esta que é utilizada tanto pelos trabalhadores da montagem dos sofás como pelos das máquinas de costura; zona de engomadoria (4), local que tem uma tábua de engomar e o respectivo ferro; zona do escritório, onde se realiza trabalho de computador e, como está situada no segundo andar, não contemplada na planta.

Existem algumas actividades que podem colocar em causa a saúde dos operadores por desrespeitar princípios ou boas práticas ergonómicas e foram seleccionadas como caso de estudo três delas: a reparação de um sofá, a confecção de um cortinado e o trabalho de escritório utilizando um computador.

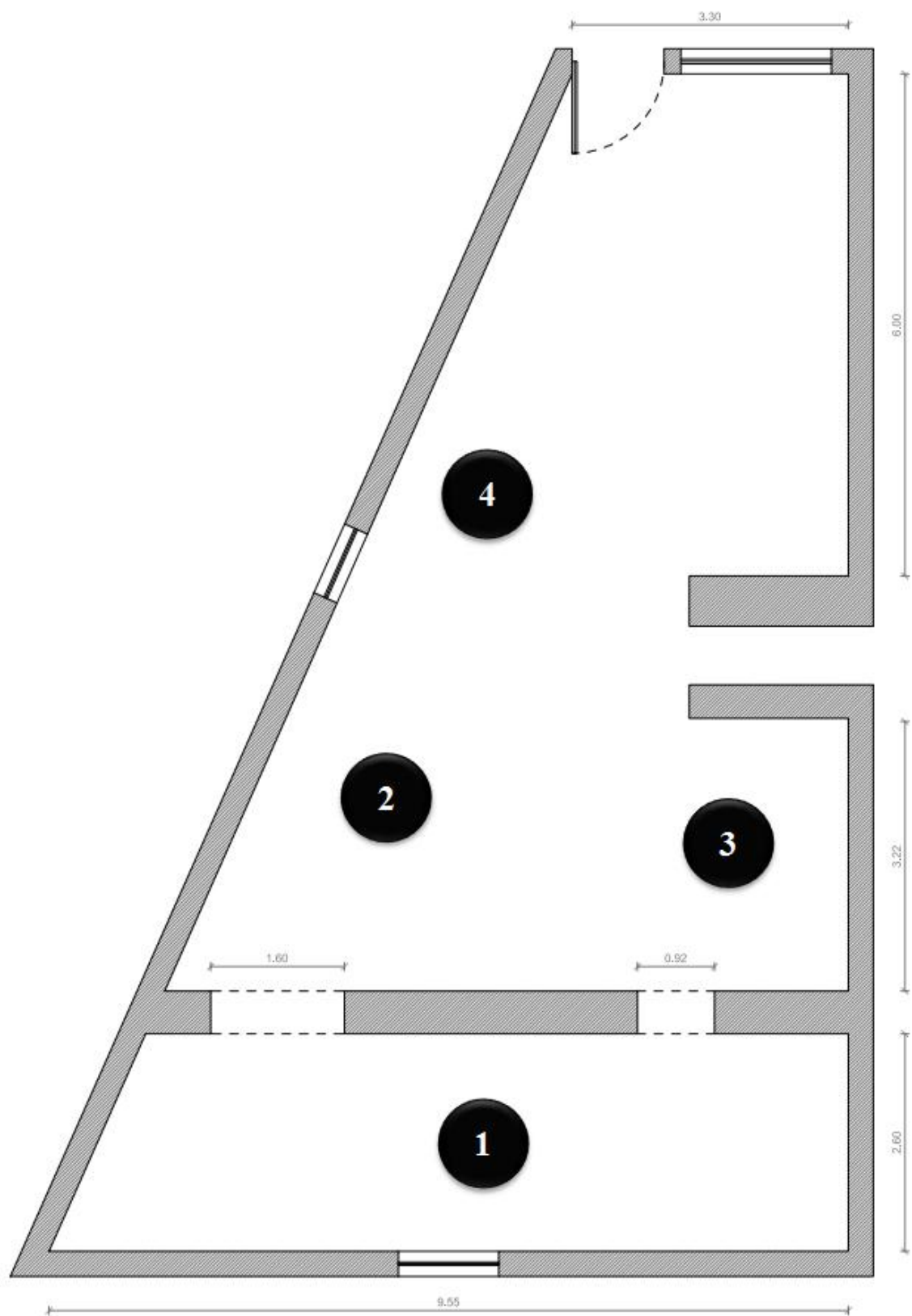


Figura 18 – Planta do *atelier* (1 – montagem dos sofás; 2 – Máquinas de costura; 3 – Mesa de corte; 4 – Engomadoria)

## 4.2. Reparação de um sofá

As Figuras 18, 19 e 20 representam as diferentes fases do processo de reparação de um sofá, desde que chega à loja até estar pronto para ser embalado e enviado para o cliente.



Figura 19 – Desmontagem e reparação dos componentes em madeira



Figura 20 – Medição e colagem/agrafagem dos materiais

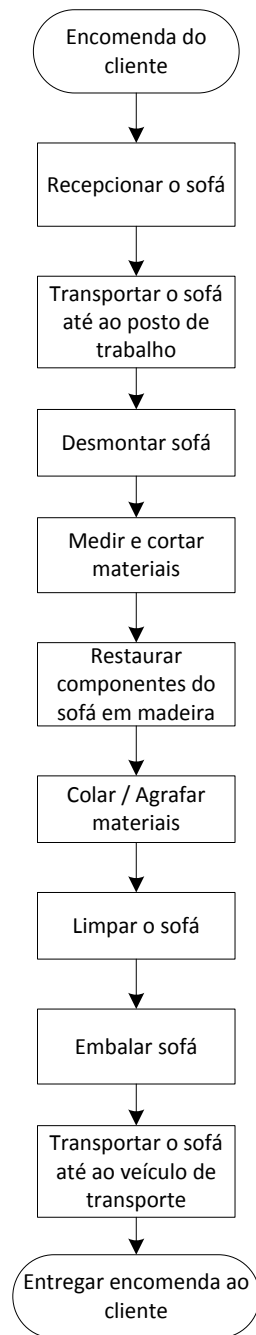




**Figura 21 – Aspecto final do sofá reparado**

A Figura 21 mostra o fluxograma da reparação de um sofá que passa por recepcionar o sofá na carrinha de transporte onde dois operadores o manuseiam até a zona de montagem (esta é a tarefa de maior dificuldade porque o sofá tem de passar por cima da mesa de corte e passar numa porta de pequenas dimensões), de seguida o sofá é colocado na mesa onde vai ser trabalhado: é desmontado, são medidos os materiais necessários, a madeira é trabalhada (tarefa prolongada por tempo de secagem de tintas e vernizes), efectua-se a colagem eagrafagem de materiais, uma limpeza do sofá com a pistola de ar, embala-se com película aderente e é levado novamente até à carrinha de transporte que posteriormente entrega o produto acabado ao cliente.





**Figura 22 – Fluxograma da reparação do sofá**

#### 4.2.1. Aplicação do ciclo DMAIC+<sup>ERG</sup> – Reparação de um sofá

##### Define

**Projecto:** implementação *Lean Six Sigma* e dos princípios ergonómicos ao processo produtivo.

**Oportunidade:** Possibilidade de aplicação de práticas *Lean Six Sigma* e de princípios ergonómicos.

**Objectivo:** reduzir desperdícios preservando a saúde do trabalhador.

**Requisitos:** satisfação de princípios *Lean Six Sigma* e ergonómicos.

##### Measure

Para este caso de estudo foram seleccionadas as seguintes métricas (output) a analisar na etapa *Control*:

**Métricas *Lean Six Sigma*:** PCE e *lead time*.

**Métricas Ergonómicas:** questionário do nível de fadiga, posturas inadequadas, nível de força.

##### Analyze

**Ferramentas:** VSM, SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>

Nesta etapa foram utilizadas as três ferramentas:

1. Com o VSM (Figura 22) foram calculados um *lead time* de 985,5 minutos e um PCE de 49%.

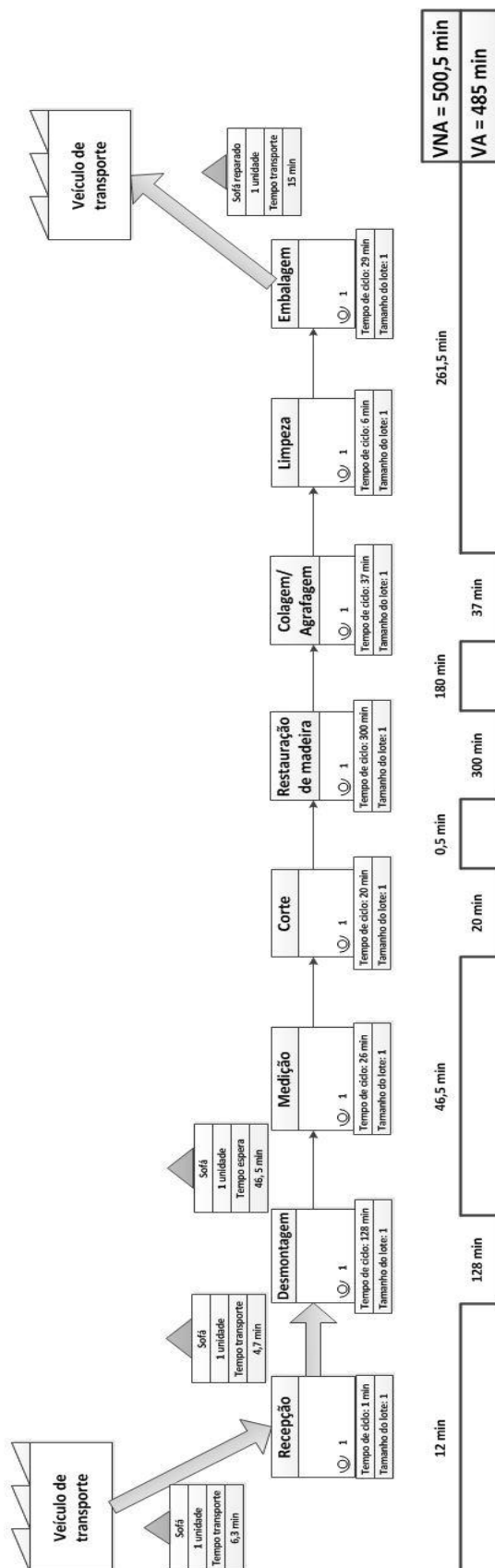
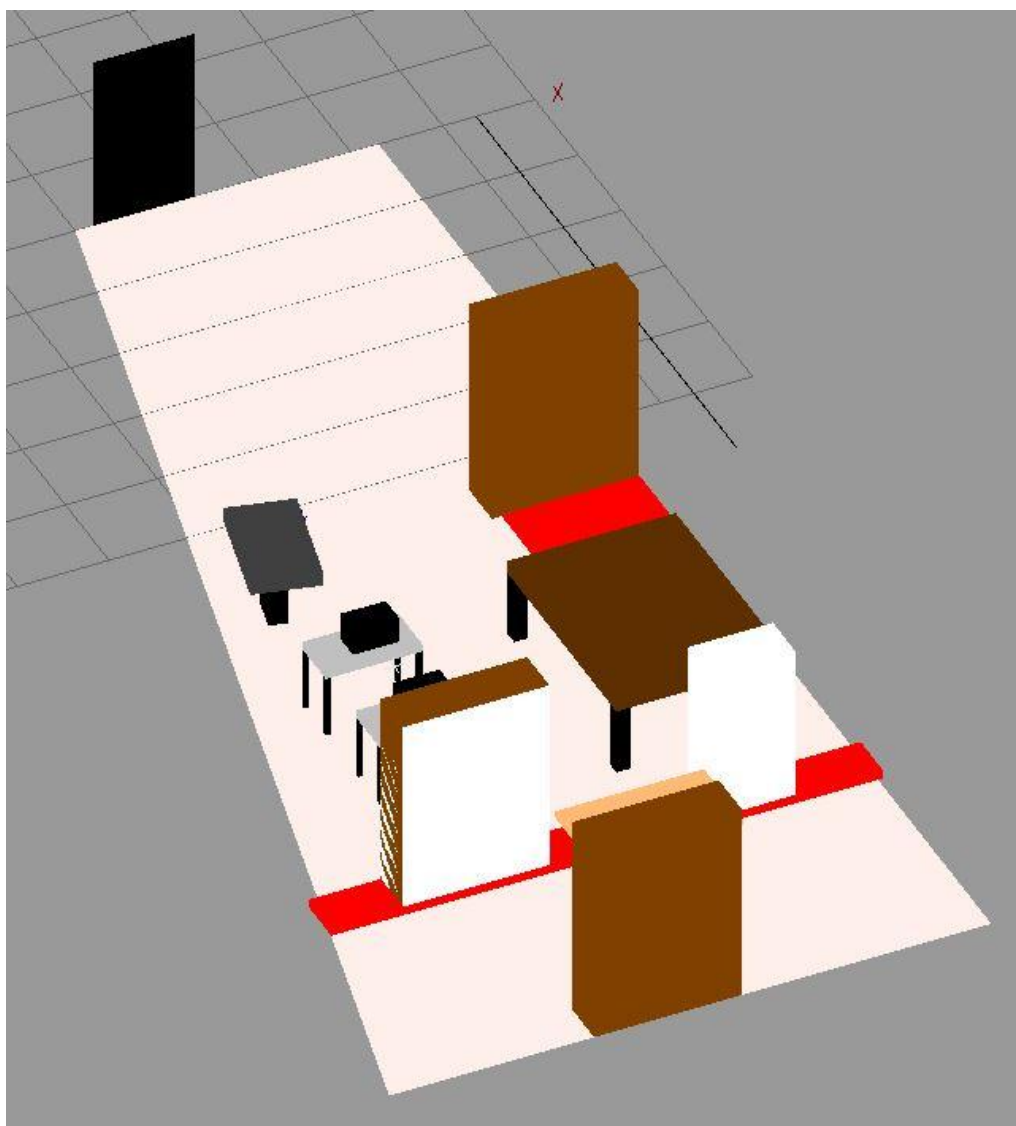


Figura 22 – VSM do processo produtivo reparação de um sofá

2. Com o recurso ao *software* SAMMIE foi elaborada uma simulação do *layout* do *atelier* apresentada na Figura 23.



**Figura 24 – Layout do atelier**

3. A utilização do plus<sup>ERG</sup> permitiu identificar problemas a nível do MMC (Regra 5), porque o operador tinha de transportar o sofá com mais de 30 Kg até à zona da sua montagem; e a nível das posturas (Regra 6), apesar da maior parte das tarefas serem realizadas com o operador em pé, verificou-se que este tinha um pequeno banco de madeira e não uma cadeira ajustável em altura, para as tarefas em que o operador se encontra sentado, o que pode aumentar a probabilidade de posturas inanequadas do pescoço. Verificou-se ainda que para o operador repousar também não existia nenhuma cadeira com apoio lombar.

#### MMC

IF                    (*frequência da movimentação é ocasional*)                    AND  
                         (*peso manuseado é  $\geq 30$  Kg*)    AND    [5]  
                         (*distância de deslocação da carga manuseada é inadequada*)  
THEN                *Inadequabilidade do manuseamento manual de cargas é muito grave*

#### Posturas

IF                    (*postura com flexão ou extensão do pescoço é frequente*) AND  
                         (*posturas assimétricas e com rotação da cabeça são ocasionais*)    [6]  
THEN                *Inadequabilidade das posturas é grave*

#### Problemas:

- Actividades de VNA de longa duração
- MMC inadequado
- Posturas inadequadas
- Passagem grande obstruída

#### Causas:

- Desarrumação do posto de trabalho
- Transporte dos sofás
- Cadeira inadequada
- Armário encastrado na passagem

### Improve

Depois de identificados os problemas na etapa anterior concluiu-se que a desarrumação do posto de trabalho causava tempos de VNA ao processo o que poderia ser resolvido com uma arrumação e organização sistemática do posto de trabalho (Técnica 5s). O espaço da loja não estava a ser utilizado da melhor forma, uma vez que a parte da frente da loja estava a ser utilizada para expor sofás e cortinados para serem vistos através da montra. Depois de uma reunião com os responsáveis do *atelier* chegou-se à conclusão que era mais proveitoso haver mais espaço para os operadores para as actividades de VNA fossem menores, e não ter montra de exposição. Verificou-se também que (uma vez que a zona de montagem dos sofás não podia ser alterada por impossibilidade de mover o compressor de ar) e uma vez que a passagem que tinha um armário encastrado era maior que a outra, por onde normalmente passavam os sofás, foi necessário desbloquear a maior. Na mesma reunião foram discutidas e escolhidas as recomendações do plus<sup>ERG</sup> que mais se adequavam como mostram as Regras 7 e 8.

- MMC

IF *peso manuseado é  $\geq 30$  Kg OR*  
*distância de deslocação da carga manuseada é inadequada* [7]

THEN

- 1) Subdividir carga
- 2) Mais que um operador a transportar a carga
- 3) Fornecer carrinho de transporte**
- 4) Fornecer equipamentos mecânicos

- Posturas

IF *postura com flexão ou extensão do pescoço é frequente* [8]

THEN

- 1) Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho
- 2) Ajustar o assento em altura (adquirir nova cadeira com apoio lombar e regulável se necessário)**

As recomendações que mais se adequavam ao posto de trabalho foram fornecer um carrinho de transporte para combater os problemas de MMC e adquirir uma cadeira com apoio lombar e regulável em altura para o problema das posturas inadequadas durante o trabalho e também para os operadores repousarem.

**Alterações propostas:**

- Formação - técnica 5s
- Alteração de *layout*
- Fornecer carrinho de transporte
- Cadeira com apoio lombar e regulável em altura

Analyze (2ª iteração)

**Ferramentas:** VSM, SAMMIE e plus<sup>ERG</sup>

Na segunda iteração da etapa *analyze* foram novamente utilizadas as três ferramentas.

1. Com a aplicação do VSM (Figura 24) foi possível calcular o *lead time* e o PCE que foram respectivamente de 972,9 minutos e de 50%.

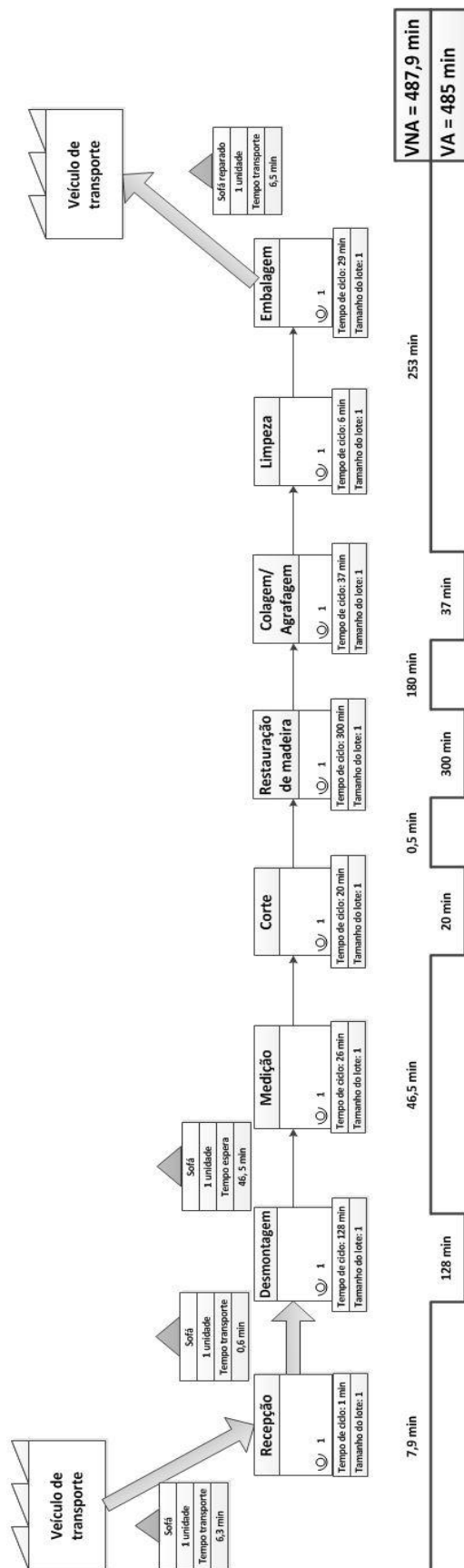


Figura 24 – VSM do processo produtivo reparação de um sofá depois das alterações efectuadas



2. Com o SAMMIE foi novamente desenhado o *layout* do *atelier* com as respectivas alterações (Figura 25) discutidas e seleccionadas na etapa *improve*.

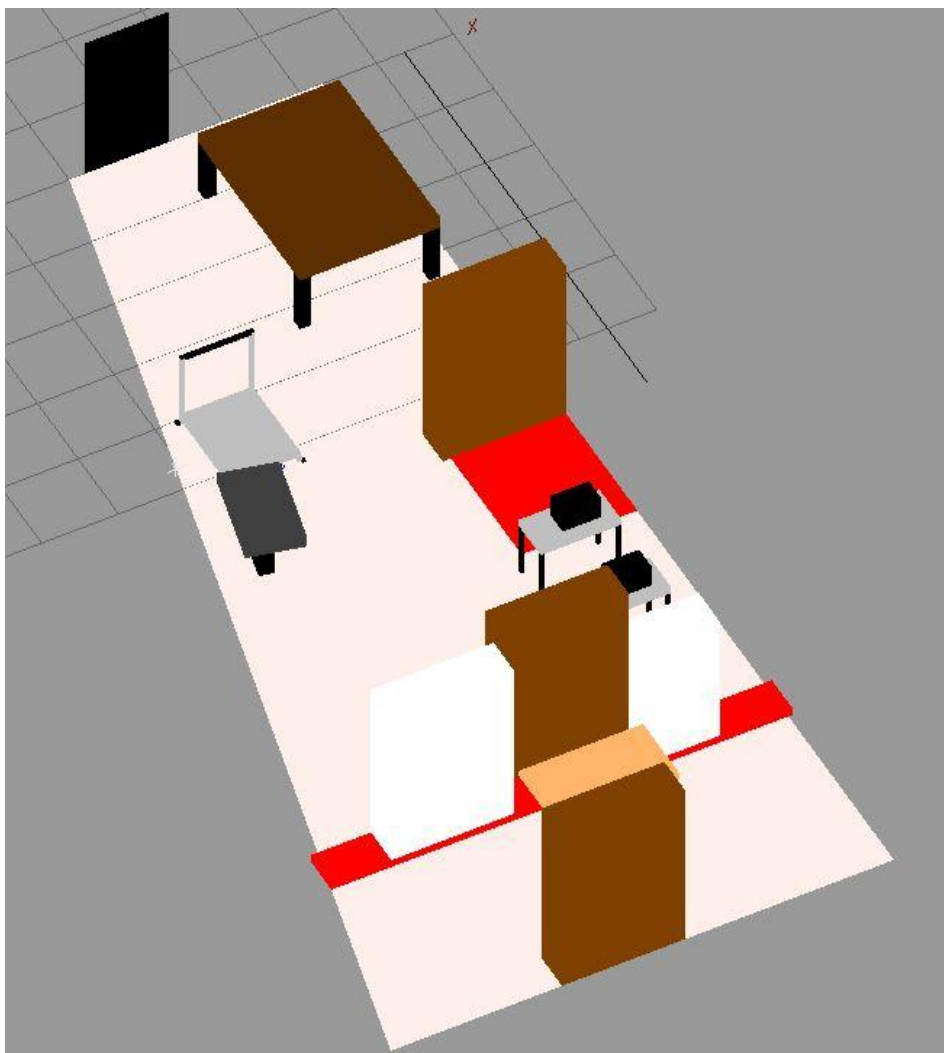


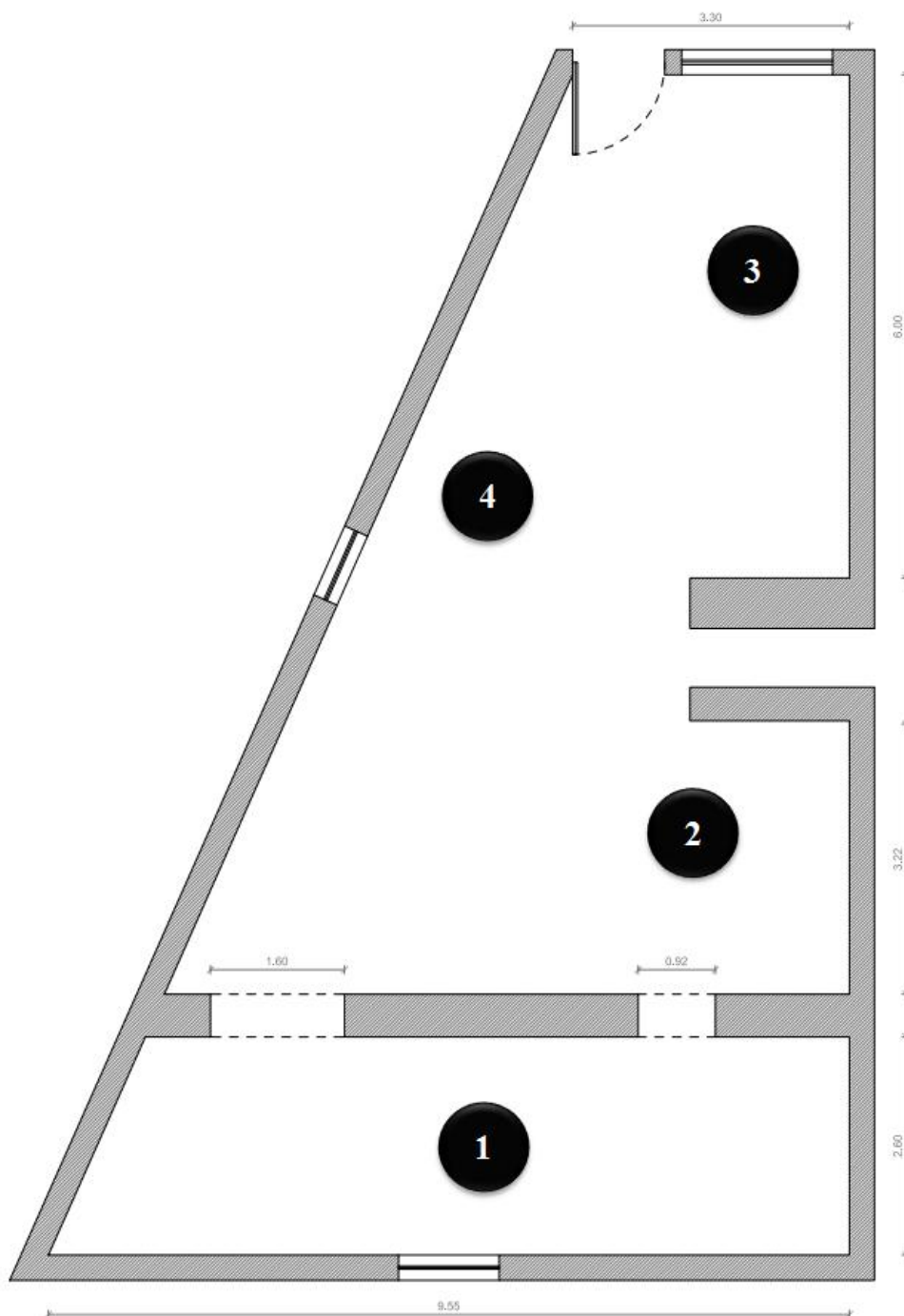
Figura 26 – Layout do *atelier* depois das alterações efectuadas

3. Com a aplicação do plus<sup>ERG</sup> não foram identificados mais problemas o que permite passar directamente para a etapa *control*.

**Problemas:**

- Nada a registar

A Figura 26 representa a planta do *atelier* com as respectivas alterações das zonas (Anexo 4). A zona 1 (montagem dos sofás) manteve a mesma localização assim como a zona 4 (engomadoria), enquanto que a zona 2 (máquinas de costura) foi transferida para o local onde se encontrava a zona 3 (mesa de corte) e esta passou a localizar-se junta à entrada da loja.



**Figura 27 – Planta do *atelier* com as alterações efectuadas (1 – montagem dos sofás; 2 – Máquinas de costura; 3 – Mesa de corte; 4 – Engomadoria)**

### Control

Nesta etapa é realizada a documentação das alterações efectuadas e a comparação de resultados antes e depois da implementação *Lean Six Sigma* juntamente com os princípios ergonómicos. A Tabela 16 apresenta um resumo das práticas implementadas e as melhorias produtivas e ergonómicas alcançadas.

**Tabela 16 – Resumo das soluções implementadas no 1º posto de trabalho**

	Situação inicial	Situação melhorada
Problemas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elevado VNA</li><li>• MMC</li><li>• Posturas</li></ul>	✓
Soluções implementadas	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Redesenho PT</li><li>• Carrinho de transporte</li><li>• Formação - Técnica 5S</li><li>• Cadeira com apoio lombar e regulável</li></ul>
Melhorias Lean	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Lead time</i> ↓</li><li>• PCE ↑</li></ul>
Melhorias Ergonómicas	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Minimização de MMC</li><li>• Eliminação de posturas inadequadas</li><li>• Repouso adequado</li></ul>

A Figura 27 representa a diferença das métricas produtivas da situação inicial para a situação melhorada, onde se verifica uma diminuição de *lead time* alcançada de 985,5 minutos para 972,9 minutos bem como um aumento de PCE de 49% para 50%.

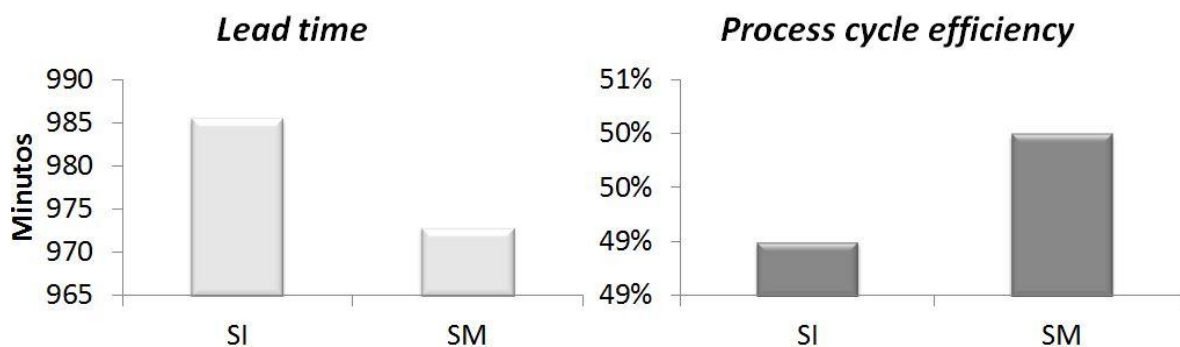


Figura 28 – Gráficos do *Lead time* e do PCE da situação inicial e da situação melhorada

Quanto à análise das métricas ergonómicas, verifica-se através do questionário respondido positivamente pelo operador que o nível de fadiga do mesmo diminuiu, bem como a frequência de posturas inadequadas do pescoço, visto que com a inclusão da cadeira o operador está salvaguardado tanto a nível das posturas incorrectas como nas pausas para repouso do mesmo. O nível de força aplicada no MMC foi reduzido ao mínimo possível, com a introdução do carrinho de transporte.

#### 4.3. Confeção de um cortinado

A Figura 28 apresenta um tipo de cortinado confeccionado no *atelier*, tendo sido utilizado neste caso de estudo. A Figura 29 mostra a operadora a utilizar a máquina de costura na confeção do mesmo.

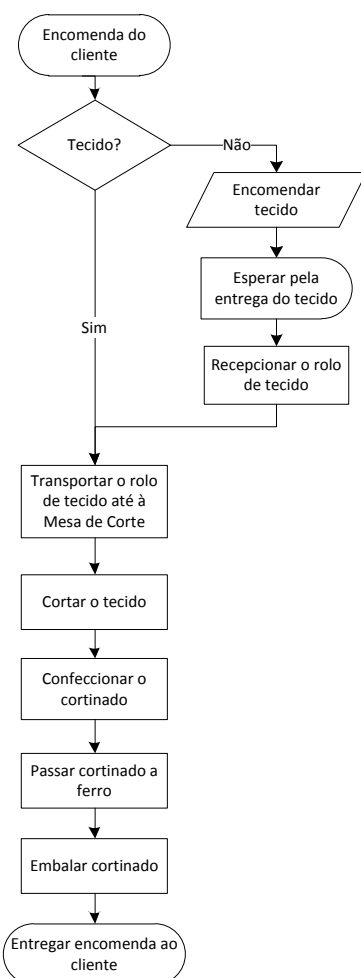


Figura 29 – Tipo de cortinados confeccionados no caso de estudo



**Figura 30 – Tarefa de costura na máquina**

A Figura 30 apresenta o fluxograma da confecção do cortinado que começa pela encomenda do cliente, seguindo-se a encomenda do tecido se necessário, a própria confecção do cortinado e a respectiva entrega do produto final engomado e embalado.



**Figura 31 – Fluxograma da confecção de um cortinado**

#### 4.3.1. Aplicação do ciclo DMAIC<sup>+ERG</sup> – Confeção de um cortinado

##### Define

**Projecto:** implementação *Lean Six Sigma* e dos princípios ergonómicos ao processo produtivo.

**Oportunidade:** possibilidade de aplicação de práticas *Lean Six Sigma* e de princípios ergonómicos.

**Objectivo:** reduzir desperdícios preservando a saúde do trabalhador.

**Requisitos:** satisfação de princípios *Lean Six Sigma* e ergonómicos.

##### Measure

Para este caso de estudo foram seleccionadas as seguintes métricas (output) a analisar na etapa *Control*:

**Métricas *Lean Six Sigma*:** PCE e *lead time*.

**Métricas Ergonómicas:** questionário do nível de fadiga e posturas inadequadas.

##### Analyze

**Ferramentas:** VSM e plus<sup>ERG</sup>

Nesta etapa foram utilizadas duas ferramentas:

1. Com o VSM (Figura 31) foram calculados um *lead time* de 117,7 minutos e um PCE de 70%.

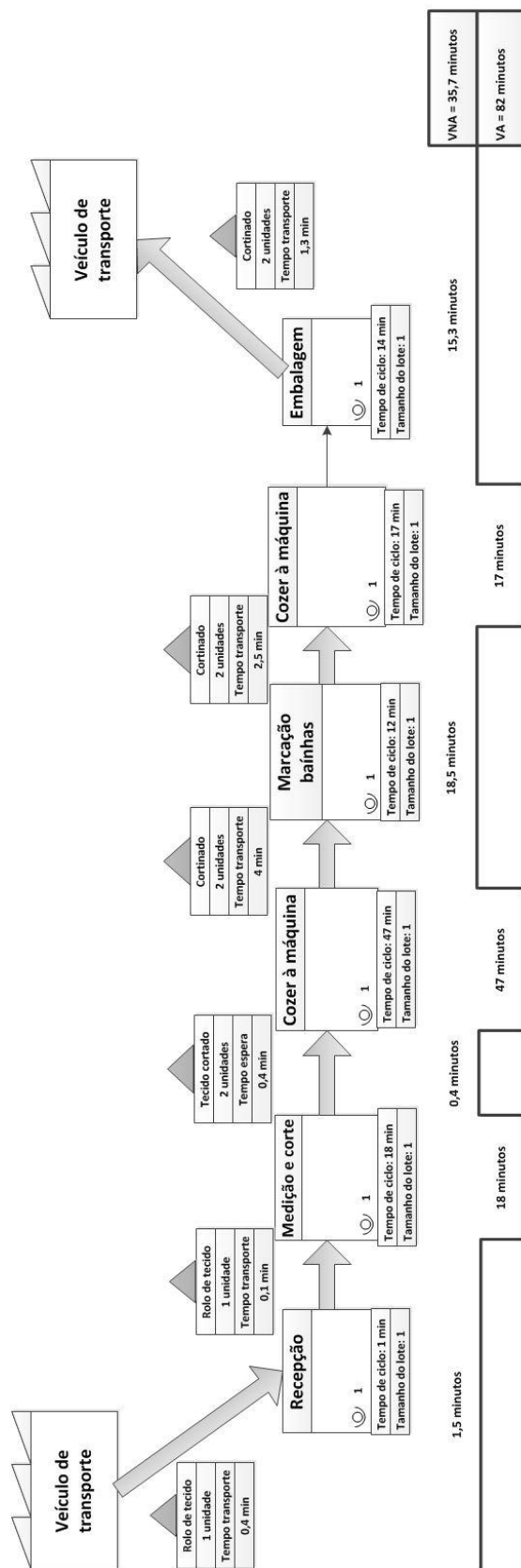


Figura 31 – VSM do processo produtivo confecção do cortinado

2. No plus<sup>ERG</sup> foram encontrados problemas a nível das posturas (regra 9). Não foi necessário utilizar o SAMMIE pois o *layout* alterado na reparação do sofá foi feito considerando também este posto de trabalho e sendo assim não foram encontrados quaisquer problemas relacionados com o *layout*.

#### Posturas

IF (postura com flexão ou extensão do pescoço é frequente) AND  
(posturas assimétricas e com rotação da cabeça são ocasionais) [9]  
THEN inadequabilidade das posturas é grave

#### Problemas:

- Posturas inadequadas

#### Causas:

- Cadeiras inadequadas

#### Improve

Depois da análise efectuada na etapa anterior concluiu-se que o único problema encontrado neste posto de trabalho está relacionado com as posturas das duas operadoras, devido às cadeiras utilizadas por estas não serem ajustáveis em altura e não terem apoio lombar, como se pode observar na Figura 29. Foram discutidas e escolhidas as recomendações do plus<sup>ERG</sup> que mais se adequavam (regra 10).

#### Recomendações fornecidas pelo plus<sup>ERG</sup>

- Postura

IF postura com flexão ou extensão do pescoço é frequente [10]

THEN

1) Reposicionar, na vertical e/ou horizontal, controlos de máquinas, visores, suporte de documentos ou superfícies de trabalho

2) Ajustar o assento em altura (adquirir nova cadeira com apoio lombar e regulável se necessário)



A única recomendação para um funcionamento adequado deste posto de trabalho, seria adquirir uma cadeira com apoio lombar e regulável em altura para o problema das posturas e também para os operadores repousarem.

#### Alterações propostas:

- Cadeiras com apoio lombar e reguláveis em altura

#### Control

Como não foi feita nenhuma alteração que implicasse alteração de *layout*, nem que alterasse o modo de funcionamento do posto de trabalho, não foi necessário fazer segundas iterações das etapas *analyze* e *improve* pelo que se passou logo à etapa *control*. Nesta etapa é realizada a documentação das alterações efectuadas e a comparação de resultados antes e depois da implementação *Lean Six Sigma* juntamente com os princípios ergonómicos. A Tabela 17 apresenta um resumo das práticas implementadas e as melhorias produtivas e ergonómicas alcançadas.

**Tabela 17 – Resumo das soluções implementadas no 2º posto de trabalho**

	Situação inicial	Situação melhorada
Problemas	• Posturas	✓
Soluções implementadas	-	• Cadeiras com apoio lombar e reguláveis
Melhorias Lean	-	-
Melhorias Ergonómicas	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação de posturas incorrectas</li> <li>• Repouso adequado</li> </ul>

Quanto à análise das métricas pode concluir-se que as métricas *Lean* apresentavam já excelentes índices, com um *Lead time* de 117,7 minutos e um PCE de 70%, enquanto que relativamente às métricas ergonómicas escolhidas na etapa *measure*, pode concluir-se que o nível de fadiga diminuiu, o que se verificou com o questionário respondido positivamente pelos operadores, bem como a frequência de posturas inadequadas do pescoço dos operadores, visto que com a inclusão das cadeiras estes estão salvaguardados tanto a nível das posturas incorrectas como nas pausas para repouso.

#### 4.4. Trabalho de escritório com computador

No âmbito deste trabalho, foi também aplicada individualmente a ferramenta Plus<sup>ERG</sup> para verificar se eram respeitados os princípios ergonómicos no posto de trabalho de escritório com computador. Não foi necessário utilizar o *software* SAMMIE neste posto de trabalho, pois a secretária do operador encontrava-se na posição correcta, ou seja, perpendicularmente à janela. Foram detectados, através da ferramenta, alguns problemas (regra 11).

Trabalho com equipamento dotado de visor

IF	<i>(utilização do visor é excessiva)</i>	AND	
	<i>(tapete do rato com apoio para o punho não existe)</i>	AND	[11]
	<i>(suporte de documentos estável e regulável não existe)</i>		
THEN	<i>inadequabilidade do Trabalho com equipamento dotado de visor é grave</i>		

Depois de verificados os problemas existentes foram discutidas e escolhidas as melhores soluções para este posto de trabalho (Regras 12, 13 e 14).

#### Recomendações fornecidas pelo plus<sup>ERG</sup>

Utilização excessiva do visor

IF	<i>utilização do visor é excessiva</i>	[12]
----	--	------

THEN

- 1) Introduzir pausas cuja frequência e duração dependem da natureza e intensidade da tarefa
- 2) Fornecer formação ao trabalhador sobre a utilização do equipamento
- 3) Proporcionar exames oftalmológicos periódicos

Tapete de rato sem apoio para o punho

IF                    *tapete do rato com apoio para o punho não existe*                    [13]

THEN

- 1) Adquirir novo tapete de rato com apoio para o punho

Suporte de documentos inexistente

IF                    *suporte de documentos estável e regulável não existe*                    [14]

THEN

- 1) Adquirir um novo suporte de documentos

Foram propostas, para este posto de trabalho, curtas pausas de hora a hora em que o operador tem de sair da frente do computador para arquivar documentos ou fazer alongamentos; vão ser proporcionados exames oftalmológicos periódicos ao trabalhador; e foram ainda adquiridos um tapete de rato com apoio para o punho e um suporte de documentos estável e regulável. Todas estas medidas têm como objectivo preservar a saúde do operador, o que traz benefícios não só ao próprio mas também à empresa.



## Capítulo 5 – Conclusões e trabalho futuro

Neste capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e faz-se uma reflexão sobre a eficácia da metodologia utilizada. Serão analisados os resultados obtidos bem como as mais-valias que impulsionaram a realização deste trabalho. Por último, sugerem-se novas possibilidades de trabalho futuro.

### 5.1. Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho consistiu na elaboração de uma metodologia que alia os princípios ergonómicos a uma abordagem *Lean Six Sigma*.

Por vezes, os paradigmas de produção ao procurarem uma redução de desperdícios, aumento de produtividade e maiores receitas, negligenciam a saúde do operador. Situação esta, que leva as empresas, a longo prazo, a sentirem quebras na produtividade devido a elevados níveis de *stress*, doenças músculo-esqueléticas ou simplesmente por desmotivação dos seus trabalhadores. A Ergonomia tem um reflexo significativo no desempenho das organizações, sendo fundamental que se tenham em conta os seus princípios, o que permite melhorar o bem-estar do trabalhador e como consequência a sua produtividade e a da organização.

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia, DMAIC<sup>+ERG</sup>, que poderá contribuir para as organizações aperfeiçoarem o seu esforço de melhoria contínua através da combinação do *Lean Six Sigma* e dos princípios ergonómicos. Passa por imputar os princípios ergonómicos em cada uma das etapas do Ciclo DMAIC.

Ao aliar ferramentas conhecidas (VSM e SAMMIE) com um sistema de apoio à decisão que foi elaborado no âmbito deste trabalho, plus<sup>ERG</sup>, foi possível reunir todos os benefícios que se obtêm quando cada uma delas é aplicada individualmente. O plus<sup>ERG</sup> permite integrar a Ergonomia na abordagem *Lean Six Sigma* de forma a otimizar o desempenho dos recursos humanos, através de recomendações (analisadas e escolhidas numa reunião), que permitem não só evitar problemas para a saúde do operador e, simultaneamente, trazer melhorias produtivas, como sejam o aumento do PCE e a diminuição do *lead time*. Optou-se pelo VSM e pelo SAMMIE, porque existe uma ligação essencial entre o VSM e o *Lean Six Sigma* e, quanto ao SAMMIE, a sua utilização baseou-se no facto de que o mesmo permite visualizar o *layout* do posto de trabalho ao mesmo tempo que incorpora aspectos ergonómicos. Quando estes princípios são adoptados numa fase inicial, resulta numa redução dos custos associados à concepção do posto de trabalho.

Relativamente aos resultados obtidos com a implementação *Lean Six Sigma* e dos princípios ergonómicos, permitiram à empresa colmatar algumas falhas tanto a nível produtivo como a nível ergonómico. Pode concluir-se que o objectivo de reduzir desperdícios preservando a saúde do trabalhador foi assegurado, satisfazendo os princípios *Lean Six Sigma* e simultaneamente os ergonómicos.

Quanto ao posto de trabalho de reparação de um sofá, os problemas encontrados foram actividades de valor não acrescentado de elevada duração, o manuseamento manual de cargas e as posturas inadequadas. Todos estes problemas foram eliminados com a implementação das seguintes soluções: redesenho do posto de trabalho (alteração de *layout*), que permitiu ao operador desobstruir a passagem maior, sendo agora possível transportar o sofá com maior facilidade; o carrinho de transporte, que é utilizado no transporte do sofá até à zona de trabalho; formação na técnica 5s, que possibilita uma maior rapidez na procura de ferramentas necessárias ao operador; e uma cadeira com apoio lombar e regulável em altura, que elimina posturas incorrectas e proporciona um repouso adequado nas pausas do operador. As métricas produtivas seleccionadas neste posto de trabalho, foram o PCE e o *lead time*, e observou-se um aumento de PCE de 49% para 50% e uma redução de *lead time* de 985,5 minutos para 972,9 minutos. Quanto às métricas ergonómicas seleccionadas no mesmo posto de trabalho (questionário do nível de fadiga, posturas inadequadas e nível de força), pode concluir-se que o nível de fadiga dos operadores diminuiu uma vez que os mesmos responderam positivamente ao questionário imposto; a frequência de posturas inadequadas do pescoço dos operadores também diminuiu, visto que com a inclusão da cadeira o operador está salvaguardado tanto a nível das posturas incorrectas como nas pausas para repouso; o nível de força aplicada no MMC foi reduzido ao mínimo possível, com a introdução do carrinho de transporte, sendo impossível eliminá-lo totalmente, pois apesar de ser possível transportar sem grande esforço até à zona de montagem, existe sempre o manuseamento para cima da mesa de montagem e para a carrinha de transporte (tarefas realizadas por dois operadores).

No que diz respeito ao posto de trabalho de confecção de um cortinado, os índices produtivos apresentavam inicialmente bons resultados (*lead time* de 117,7 minutos e PCE de 70%), sendo as posturas inadequadas do pescoço o único aspecto negativo a assinalar neste posto. Para combater esta situação, o plus<sup>ERG</sup> recomendou a aquisição de cadeiras com apoio lombar e reguláveis em altura. Conclui-se que as melhorias alcançadas foram a eliminação das posturas incorrectas e a obtenção de um repouso adequado por parte do operador. Mais uma vez os resultados obtidos através da metodologia elaborada no presente trabalho foram positivos, visto que as métricas seleccionadas na etapa *measure* foram melhoradas. Verificou-se a diminuição do nível de fadiga dos operadores através

do questionário respondido positivamente pelos operadores, bem como a frequência de posturas inadequadas.

No terceiro posto de trabalho estudado, trabalho de escritório, foi apenas aplicada a ferramenta plus<sup>ERG</sup>, para verificar o cumprimento dos princípios ergonómicos no posto. Foram detectados vários problemas, nomeadamente na área de intervenção ergonómica “trabalho com equipamento dotado de visor”. A utilização do visor ultrapassava por dia as 5 horas de trabalho (uma vez que estavam a informatizar todos os dados da empresa), logo era uma utilização excessiva; o tapete do rato não tinha apoio para o punho; e não existia suporte de documentos. As recomendações fornecidas pelo plus<sup>ERG</sup> foram todas implementadas e passavam por introduzir pausas de 5 minutos de hora a hora para, por exemplo, arquivar documentos ou fazer alongamentos; fornecer formação ao operador para que não utilizasse as pausas permanecendo no computador (visualização de e-mails, acesso a redes sociais, etc.); proporcionar exames oftalmológicos periódicos; adquirir rato com apoio para o punho; e adquirir suporte de documentos estável e regulável, uma vez que a principal tarefa relaciona-se com a introdução de dados no computador.

Em suma, todos estes resultados traduzem a eficácia da metodologia e da ferramenta apresentadas, sendo uma mais-valia nos dias que correm, onde não se deve apenas procurar obter lucros e produtividade, comprometendo a saúde e o bem-estar dos trabalhadores. Ao aliar a qualidade do desempenho organizacional sem descurar o factor humano, comprova-se que é possível obter melhores resultados porque a saúde do trabalhador reflecte-se na saúde da organização.

## **5.2. Mais-valias associadas à realização do trabalho**

Na realização do trabalho, surgiram vários aspectos positivos e que se revelaram como mais-valias, nomeadamente o facto da metodologia e ferramenta criadas encontrarem-se disponíveis e de fácil aplicação, para as empresas que pretendam aumentar a sua produtividade e ao mesmo tempo salvaguardar a saúde dos operadores, não descurando os princípios ergonómicos.

O plus<sup>ERG</sup>, pode ser utilizada durante a aplicação da metodologia, na etapa *analyze*, e também ser aplicada como ferramenta individualmente, como se constatou no terceiro caso de estudo no posto de trabalho com a utilização do computador. Tanto a metodologia como a ferramenta criadas detêm a possibilidade de suportar actualizações, que incluam novos atributos e respectivas classes, revelando-se também como uma mais-valia com potencial para melhorias.

### 5.3. Trabalho futuro

Como trabalho futuro, a ferramenta criada neste trabalho vai estar disponível em formato digital para facilitar o acesso à mesma. Com a inclusão dos princípios de Segurança Ocupacional, a metodologia passou a denominar-se DMAIC<sup>+ES</sup> e a ferramenta plus<sup>ES</sup>. Vão ser reunidos esforços para actualizar as áreas de foco da metodologia, tanto a nível da Ergonomia como da Segurança Ocupacional, sempre com o intuito de aumentar a produtividade das organizações e ao mesmo tempo salvaguardar a saúde e segurança do trabalhador.

Relativamente à aplicação futura da metodologia em diferentes contextos de trabalho, sugere-se que entre esses esteja um processo produtivo de maiores dimensões onde os seus resultados sejam mais notórios e traduzam um maior impacto na produtividade da empresa, mas nunca comprometendo os operadores.



## Referências Bibliográficas

- Alvarez, R. e Antunes, J., 2001. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do sistema toyota de produção. *Gestão e Produção*. Disponível em: <http://biblioteca.gpi.ufrj.br/xmlui/handle/1/31> [Acedido a 14 de Abril de 2012].
- Alves, J., 2005. Avaliação de Desempenho dos Sistemas Periciais. Disponível em: <http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/753> [Acedido a 14 de Abril de 2012].
- Anon, 2000. IEA Council. *The Discipline of Ergonomics*. International Ergonomics Society. Disponível em: [http://www.iea.cc/01\\_what/What is Ergonomics.html](http://www.iea.cc/01_what/What is Ergonomics.html) [Acedido a 7 de Fevereiro de 2012].
- Arnheiter, E.D. e Maleyeff, J., 2005. The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, 17(1), pp.5–18. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/10.1108/09544780510573020> [Acedido a 1 de Agosto de 2012].
- Burke, M., 1998. *Ergonomics tool kit: practical applications* Aspen Publ., Gaithersburg, Maryland.
- CEN, 1998. prEN 1005-4 Safety of machinery - Human physical performance - part 4: Evaluation of working postures in relation to machinery. *Comité Européen de Normalização*.
- Case, K., Porter, M. e Bonney, M., 1990. SAMMIE: a man and workplace modelling system. In W. Karwowski, A. Genaidy, & S. Asfour, eds. *Computer-Aided Ergonomics*. Taylor & Francis, pp. 31–56.
- Chase, R., Jacobs, R. e Aquilano, N., 2006. *Operations Management for Competitive Advantage* Eleventh e., The McGraw-Hill. Disponível em: <http://site.iugaza.edu.ps/aschokry/files/2011/09/Introduction-toOperations-and-Production-management-chap-11.pdf> [Acedido a 14 de Abril de 2012].
- Correia, N., Machado, V.C. e Nunes, I.L., 2010. Case Study: Estratégia de Aplicação de Ferramentas de Apoio à Gestão do Desempenho Humano em Ambientes Lean. In *6th International Symposium on Occupational Safety and Hygiene*. Guimarães, Portugal, pp. 163–167.
- Couto, H., 1995. *Ergonomia Aplicada ao trabalho: Manual Técnico da Máquina Humana* E. Editora, ed., Belo Horizonte, Brasil.
- DL330, 1993. *Decreto-Lei n.º 330/93*, MINISTÉRIO DO EMPREGO E DA SEGURANÇA SOCIAL. Disponível em: [http://www.estg.ipg.pt/legislacao\\_ambiente/ficheiros/DL\\_330-93.pdf](http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/DL_330-93.pdf).
- Devane, T., 2004. *Integrating Lean Six Sigma and High-Performance Organizations: Leading the charge toward dramatic, rapid, and sustainable improvement*, San Francisco: Pfeiffer.
- Dul, J. et al., 2012. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), pp.377–95. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22332611>.
- Dul, J. e Neumann, W.P., 2009. Ergonomics contributions to company strategies. *Applied ergonomics*, 40(4), pp.745–52. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18775532> [Acedido a 20 de Agosto de 2012].

- Dul, J. e Weerdmeester, B., 2001. *Ergonomics for Beginners - A quick reference guide* Second edi. Taylor & Francis, ed.,
- El-Haik, B. e Roy, D.M., 2005. *Service Design for Six Sigma: A Road Map for Excellence*, John Wiley & Sons, Inc.
- Genaidy, A.M. e Karwowski, Waldemar, 2003. Human performance in lean production environment: Critical assessment and research framework. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 13(4), pp.317–330. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/hfm.10047> [Acedido a 13 de Setembro de 2011].
- George, M.L., 2003. *Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions*, McGraw-Hill Companies.
- George, Michael L, 2002. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*, Dallas: McGraw-Hill Companies.
- HSE, 2011. FAQs - Manual Handling and Labelling loads. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/msd/faq-manhand.htm#labelling> [Acedido a 14 de Agosto de 2012].
- Hicks, B.J., 2007. Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, 27(4), pp.233–249. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401206001435> [Acedido a 20 de Julho de 2012].
- Jackson, P., 1999. *Introduction to Expert Systems* Third., Edinburgh: Addison-Wesley.
- Jacobson, G.H. et al., 2009. Kaizen: a method of process improvement in the emergency department. *Acad Emerg Med.*, 16(12), pp.1341–1349.
- Jiang, J.C., Chen, K.H. & Wu, M.C., 2004. Integration of Six Sigma and Lean Production. In *33rd International Conference on Computers and Industrial Engineering*.
- John, A., Meran, R., Roenpage, O., Staudter, C., 2008. *Six Sigma + Lean Toolset* S. Lunau, ed., Springer- Verlag Berlin Heidelberg.
- Kasul, R.A. e Motwani, J.G., 1997. Successful implementation of TPS in a manufacturing setting: a case study. *Industrial Management & Data Systems*, 97(7), pp.274–279.
- Kilpatrick, J., 2003. Lean Principles. *Transportation*, pp.1–5.
- LEI, 2011. Lean Enterprise Institute. Disponível em: <http://www.lean.org/> [Acedido a 20 de Março de 2012].
- Liker, J.K., 2004. The Toyota Way - 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. *Business*, 21(12).

- Linderman, K. et al., 2003. Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, 21(2), pp.193–203. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696302000876> [Acedido a 30 de Janeiro de 2012].
- Lippolt, C.R. e Furmans, K., 2008. Sizing of Heijunka-controlled Production Systems with Unreliable Production Processes. *IFIP*, 257, pp.11–19. Disponível em: <http://dl.ifip.org/index.php/AICT/article/view/25052> [Acedido a 15 de Abril de 2012].
- Matzka, J., Di Mascolo, M. e Furmans, K., 2009. Buffer sizing of a Heijunka Kanban system. *Springer Science + Business Media*, 23, pp.49–60.
- McAtamney, L. e Corlett, E.N., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, 24, pp.91–99.
- Melton, T., 2005. The Benefits of Lean Manufacturing What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), pp.662–673. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263876205727465> [Acedido a 24 de Julho de 2012].
- Miguel, A.S.S.R., 2004. *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho* P. Editora, ed., Porto, Portugal.
- Miltenburg, J., 2001. One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines : a tutorial. *IIE Transactions*, 33(4), pp.303–321.
- Montgomery, D.C. e Woodall, W.H., 2008a. An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), pp.329–346. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x> [Acedido a 26 de Agosto de 2012].
- Neumann, W.P., 2004. *Production Ergonomics: Identifying and Managing Risk in the Design of High Performance Work Systems*, Lund: Lund Technical University.
- Nunes, I.L., 2010. Conceção ergonómica de sistemas (Acetatos) - trabalho com computadores.
- Nunes, I.L., 2009. FAST ERGO\_X - a tool for ergonomic auditing and work-related musculoskeletal disorders prevention. *Work Reading Mass*, 34(2), pp.133–148.
- Nunes, I.L., 2006. *Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho - Guia para avaliação de risco* Verlag Das., Lisboa.
- Nunes, I.L., 2002. *Modelo de Sistema Pericial Difuso para Apoio à Análise Ergonómica de Postos de Trabalho*. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Nunes, I.L., Gouveia, N., Figueira, S. e Cruz-Machado, V., 2012. *Integração da Ergonomia e da Segurança na Implementação Lean Six Sigma*. In Riscos, Segurança e Sustentabilidade. C. Guedes Soares, A. P. Teixeira, e C. Jacinto, eds. Edições Salamandra, pp. 965–984.
- Nunes, I.L. e Cruz-Machado, V., 2007. Merging Ergonomic Principles into Lean Manufacturing. In *Industrial Engineering Research Conference*. Nashville-Tennessee, pp. 836–841.

- OSHAA, 2008. European Safety and Health Legislation - Directive 89/391/EEC - Manual handling of loads. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1990L0269:20070627:PT:PDF> [Acedido a 20 de Agosto de 2012].
- OSHAb, 2008. European Safety and Health Legislation - Directive 90/270/EEC - display screen equipment. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1990L0270:20070627:PT:PDF> [Acedido a 20 de Agosto de 2012].
- OSHAc, 2008. European Safety and Health Legislation - Directive 2003/88/EC - working time. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:299:0009:0019:PT:PDF> [Acedido a 20 de Agosto de 2012].
- Ohno, T., 1988. *The Toyota Production System, Beyond Large Scale Production* Sheridan B., New York.
- SAMMIE, 2004. SAMMIE CAD. Disponível em: <http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/sammie/home.htm> [Acedido a 28 de Agosto de 2012].
- Sakakibara, S. et al., 1997. The impact of just-in-time manufacturing and its infrastructure on manufacturing performance. *Management Science*, 43(9), pp.1246–1257. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2634636> [Acedido a 12 de Agosto de 2012].
- Shoaf, C. et al., 2004. Improving performance and quality of working life: A model for organizational health assessment in emerging enterprises. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 14(1), pp.81–95. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/hfm.10053> [Acedido a 26 de Novembro de 2011].
- Smyth, J., 2003. Work smarter not harder! Ergonomics in a lean business environment. In M. PT, ed. *Annual Conference of the Ergonomics-Society*. EDINBURGH, SCOTLAND, pp. 532–537.
- Turban, E., 1998. *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems* Third Edit., New York: Macmillan Publishing Company.
- Turban, E. e Aronson, J.E., 2001. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, New Jersey: Prentice Hall.
- Turban, E. e Aronson, J.E., 1998. *Decision Support Systems and Intelligent Systems* Fifth Edit., New Jersey: Prentice Hall.
- Walder, J., Karlin, J. e Kerk, C., 2007. Integrated Lean Thinking & Ergonomics : Utilizing Material Handling Assist Device Solutions for a Productive Workplace. *Material Handling Industry of America*.
- Wilson, J.R. et al., 2009. Understanding safety and production risks in rail engineering planning and protection. *Ergonomics*, 52(7), pp.774–90. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19562589> [Acedido a 10 de Abril de 2012].
- Wilson, L., 2010. *How to Implement Lean Manufacturing*, I. McGraw-Hill Companies.

Wilson, R., 2005. Guarding the line: Score big by planning for worker safety while you implement lean. *Industrial Engineer*, 37(4), pp.46–49.

Womack, J.P. e Jones, D.T., 2003. *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your organization*, Simon and Shuster, Inc.

Womack, J.P., Jones, D.T., Ross, D., 1990. *The machine that changed the world*, Macmilan Publishing Company.









#### **Anexo 1 – Publicação**

Nunes, I.L., Gouveia, N., Figueira, S. e Cruz-Machado, V., 2012. *Integração da Ergonomia e da Segurança na Implementação Lean Six Sigma*. In Riscos, Segurança e Sustentabilidade. C. Guedes Soares, A. P. Teixeira, e C. Jacinto, eds. Edições Salamandra, pp. 965–984.



## INTEGRAÇÃO DA ERGONOMIA E DA SEGURANÇA NA IMPLEMENTAÇÃO *LEAN SIX SIGMA*

*Isabel L. Nunes<sup>1</sup>, Nuno Gouveia<sup>2</sup>, Sara Figueira<sup>3</sup>, V. Cruz Machado<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia e Sistemas, Faculdade de Ciências e Tecnologia /  
Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal  
imn@fct.unl.pt

<sup>1,2,3,4</sup> Departamento Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia / Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516  
Caparica, Portugal  
nag18233@campus.fct.unl.pt  
ssfl56978@campus.fct.unl.pt

<sup>4</sup> Unidade de Investigação em Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia / Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-  
516 Caparica, Portugal  
vcm@fct.unl.pt

### Resumo

A Ergonomia e a Segurança Ocupacional podem ter um reflexo significativo no desempenho das organizações, sendo fundamental que se tenham em conta os seus princípios, de modo a melhorar o bem-estar do trabalhador e como consequência a sua produtividade e a da organização. O objectivo deste artigo é apresentar a metodologia DMAIC<sup>+ES</sup>, desenvolvida com o intuito de contribuir para aumentar os benefícios que as organizações obtêm do seu esforço de melhoria contínua, através da combinação do *Lean Six Sigma* com princípios Ergonómicos e de Segurança Ocupacional. A aplicação da metodologia combina a utilização de ferramentas de análise e de simulação já existentes (*Value Stream Mapping* e SAMMIE) com um novo sistema, o plus<sup>ES</sup>, desenvolvido no âmbito deste trabalho. A metodologia foi usada num caso de estudo onde a simulação de um processo produtivo e a aplicação das ferramentas permitiram identificar áreas de melhoria, nomeadamente de redução dos desperdícios (perspectiva *Lean*), conduzindo a novas configurações do posto de trabalho que foram aperfeiçoadas com base nos princípios Ergonómicos e de Segurança.

## 1 Introdução

As organizações, para se tornarem competitivas estão a adoptar novos paradigmas de gestão, como por exemplo a filosofia *Lean*, que permite aumentar a produtividade através da eliminação de desperdícios elevando a proporção das actividades que acrescentam valor aos processos (Hicks, 2007). Outra estratégia de gestão, o *Six Sigma*, procura identificar os processos críticos com o objectivo de os melhorar (George, 2003). O *Lean Six Sigma* pretende melhorar o *output* dos processos, reduzindo o desperdício e a variabilidade destes (Devane, 2004). Para atingir esse objectivo existem diversas metodologias disponíveis, como seja o Ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Esta metodologia é composta por 5 etapas, cujo objectivo consiste em melhorar os processos sem os redesenhar (El-haik e Roy, 2005). Para tal existem ferramentas associadas a cada uma das etapas, como por exemplo o VSM (*Value Stream Mapping*). Esta ferramenta permite identificar actividades de valor acrescentado (VA), de valor não acrescentado (VNA) mas que são indispensáveis e de VNA que podem ser eliminadas (Womack e Jones, 2003).

A Ergonomia pretende maximizar, a eficiência dos recursos humanos não pondo em risco a sua segurança, minimizar a exposição a factores de risco por falta de adequação ergonómica e obter proactivamente um programa de melhoria continua na fase inicial de qualquer actividade de concepção e quando ocorrem alterações no fluxo de produtos ou processos (Smith, 2003). Uma correcta gestão da segurança ocupacional permite às organizações uma diminuição da taxa de acidentes, e por outro lado, aumentar a sua competitividade e desempenho financeiro (Fernández-Muñiz et al, 2009). Por outro lado, a implementação de paradigmas de produção, como a produção *Lean*, que reduzem os tempos de ciclo de trabalho e a variedade de tarefas tendem a aumentar a tensão fisiológica e psicológica dos trabalhadores. Deste modo, para evitar problemas de saúde e de segurança para os trabalhadores e custos para as organizações (devidos, por exemplo, ao aumento de erros, à perda de produtividade, ao aumento do absentismo ou a indemnização aos trabalhadores) torna-se fundamental a integração dos aspectos relacionados com os factores humanos aquando da implementação destas abordagens (Nunes e Machado, 2007).

O presente artigo apresenta uma metodologia, ciclo DMAIC<sup>+ES</sup>, que inclui a Ergonomia e a Segurança Ocupacional em cada uma das etapas do ciclo. Para tal foi desenvolvida uma ferramenta ergonómica designada por plus<sup>ES</sup>, que se baseia em regras IF THEN que permitem controlar a implementação dos princípios relacionados com a Ergonomia e a Segurança Ocupacional.



Este artigo é constituído por 8 secções. Concluída a introdução, as filosofias *Lean* e *Six Sigma* são apresentadas e a metodologia que nasce da fusão destas duas filosofias é descrita na secção 4. Na secção 5, os problemas ergonómicos e de Segurança Ocupacional associados à implementação *Lean Six Sigma* são realçados. A metodologia e sua aplicação são apresentadas nas duas secções seguintes. Finalmente, na secção 8 são expostas as conclusões.

## **2 Produção *Lean***

A filosofia *Lean* foi desenvolvida pela Toyota depois da Segunda Guerra Mundial, com o objectivo de alcançar a perfeição do processo produtivo; ao contrário da produção em massa, que apenas procurava atingir o “suficiente” (Melton, 2005). Enquanto a produção em massa é vista como a produção do século XX, a produção *Lean* é vista como a produção do século XXI (Nunes e Machado, 2007).

*Lean* é uma filosofia de gestão, cujos princípios se baseiam no trabalho de equipa, na comunicação, na melhoria contínua e na eliminação de desperdícios com o intuito de melhorar a qualidade, a produtividade e o tempo de resposta ao mercado (Womack e Jones, 2003; Womack et al, 1990).

O principal objectivo do *Lean* é reduzir os sete tipos de desperdícios num processo produtivo: excesso de produção, espera, transporte e movimentos desnecessários, processamento incorrecto, excesso de *stocks* e produção de defeituosos. Um oitavo desperdício começa a ser considerado, que corresponde à não utilização da criatividade dos funcionários (Hicks, 2007; Womack e Jones, 2003). Eliminando os desperdícios, verifica-se uma melhoria da qualidade e uma redução do tempo e dos custos de produção (Wilson, 2010).

Com o objectivo de apoiar a implementação do *Lean* nas organizações encontra-se disponível um conjunto de ferramentas, como sejam: o Kanban – sistema de etiquetas, o 5S – técnica de organização/limpeza do posto de trabalho (PT), o controlo visual – método de medição do desempenho do PT, o Poka Yoke – técnica à “prova de erro”, ou o SMED (*Single Minute Exchange of Die*) – técnica de redução do tempo de preparação do sistema produtivo (Melton, 2005).

## **3 *Six Sigma***

O *Six Sigma* foi desenvolvido nos anos 80, pela Motorola, como resposta à necessidade de melhorar a qualidade e reduzir os defeitos dos seus produtos (Arnheiter e Maleyeff, 2005; Montgomery e Woodall, 2008). Nos últimos 20

anos, o *Six Sigma* estabeleceu-se como um dos mais reconhecidos conceitos de optimização de processos (John et al, 2008), procurando identificar as actividades críticas com o objectivo de as melhorar (George, 2003), melhorando a qualidade, reduzindo custos e expandindo os mercados para produtos e serviços (Montgomery e Woodall, 2008).

O *Six Sigma* é uma filosofia que se foca na melhoria dos processos para aumentar a capacidade e reduzir variação dos mesmos (El-haik e Roy, 2005), com utilização da métrica seis *sigma* em detrimento da regra “três *sigma*” de forma a reduzir a percentagem de produtos defeituosos (Arnheiter e Maleyeff, 2005).

A melhoria de processos, os métodos estatísticos, o foco no consumidor e processos e um sistema de gestão centrado em projectos de melhoria com alto retorno constituem os princípios do *Six Sigma* para alcançar a melhoria contínua e ganhos financeiros significativos (Devane, 2004).

Um método muito utilizado para obter a melhoria de processos é o ciclo DMAIC (Linderman et al, 2003), onde em cada uma das 5 fases são utilizados gráficos de controlo, desenho de experiências, análise da capacidade do processo, estudos de medição da capacidade do sistema e outras ferramentas básicas de estatística (Montgomery e Woodall, 2008).

#### **4    *Lean Six Sigma***

A filosofia *Six Sigma* tem evoluído ao longo do tempo, nomeadamente ao ser utilizada em conjunto com outras filosofias de gestão, como seja por exemplo, a integração *Lean* no conceito clássico do *Six Sigma* (John et al, 2008). Uma vez que as duas filosofias têm como objectivos comuns a melhoria da capacidade do processo produtivo e a eliminação de desperdícios, configuram-se como duas filosofias complementares e não como concorrentes (Jiang et al, 2004).

Deste modo, a metodologia *Lean Six Sigma* tem como princípio melhorar os custos, a qualidade e o *lead time* das actividades que acrescentam maior valor para o cliente e das actividades que representam um aumento no tempo de atraso dos processos. A fusão das duas filosofias é vantajosa dado que, se por um lado, a implementação *Lean* permite melhorar a velocidade do processo e reduzir o capital investido, ao passo que a implementação *Six Sigma* permite realizar o controlo estatístico do processo (George, 2002). Num ambiente altamente competitivo (Arnheiter e Maleyeff, 2005) verificaram uma diminuição dos ganhos quando cada uma das filosofias foi implementada isoladamente.



Dado que um objectivo comum das duas filosofias, *Lean* e *Six Sigma*, é a melhoria contínua, a metodologia DMAIC, cujo objectivo é melhorar os processos sem os redesenhar, constitui um instrumento de apoio a este objectivo (El-haik e Roy, 2005). O DMAIC configura-se como um ciclo iterativo que pode ser utilizado para otimizar os processos existentes de forma a aumentar a sua qualidade (reduzindo os desperdícios associados aos processos), a reduzir *stocks*, a diminuir tempos de ciclo através de controlo do inventário e do ajuste da capacidade. A aplicação desta metodologia permite identificar e resolver problemas complexos (John et al, 2008). Esta metodologia é constituída por 5 etapas: na primeira etapa, *Define*, pretende definir-se a oportunidade e os requisitos dos consumidores; na segunda, *Measure*, é necessário garantir métricas adequadas, estabilidade e capacidade inicial do processo; na terceira, *Analyze*, os dados são analisados e os *inputs* críticos identificados; na quarta, *Improve*, o processo é sujeito a melhorias com base no novo conhecimento; por último, *Control*, baseia-se na implementação de controlos adequados para sustentar os ganhos (El-haik e Roy, 2005).

## **5 *Lean Six Sigma*, Ergonomia e Segurança**

O desempenho das organizações é pautado pela gestão das interacções complexas de pessoas, materiais, equipamento e recursos (Arnheiter e Maleyeff, 2005); sendo que o desempenho das pessoas tem um papel importante na eficácia das organizações (Shoaf et al, 2004).

A Ergonomia (ou Factores Humanos) tem como objectivo compreender as interacções entre o homem e os outros elementos do sistema para otimizar o bem-estar dos trabalhadores e o desempenho global do sistema (IEA Council, 2000). Segundo (Dul e Neumann, 2009) para além do objectivo social e do bem-estar dos trabalhadores, a Ergonomia tem também um objectivo económico, que corresponde ao desempenho global da organização. Por outro lado, os gestores associam a Ergonomia à Segurança e saúde ocupacionais e respectiva legislação, não a associando ao desempenho organizacional. De modo a que a Ergonomia seja contemplada nas organizações é necessário haver uma transição do paradigma Ergonomia/saúde para o paradigma Ergonomia organizacional sem perder de vista os objectivos relacionados com a saúde e segurança no trabalho (Dul e Neumann, 2009).

A falta de Ergonomia nos sistemas produtivos pode comprometer o desempenho e causar doenças músculo-esqueléticas, o que pode significar um elevado custo para a sociedade, as organizações e para o trabalhador afectado (Neumann, 2004). Em ambientes *Lean*, a intensificação das exigências das tarefas e a diminuição de factores que permitem obter sucesso



no desempenho das mesmas (variedade das tarefas, segurança dos trabalhadores, incentivos financeiros, desenvolvimento e utilização da perícia e conhecimento dos trabalhadores e conhecimento do desempenho organizacional) podem comprometer a saúde e segurança dos trabalhadores (Genaidy e Karwowski, 2003).

Por outro lado e numa situação ideal, a implementação da filosofia *Six Sigma*, do ciclo DMAIC e das ferramentas *Lean* deve ser feita em simultâneo para que a organização alcance níveis elevados de desempenho dos processos e melhorias significativas na mesma (Montgomery & Woodall, 2008). As filosofias *Lean* e *Six Sigma* têm focado os seus esforços na optimização do desempenho dos processos, ignorando por vezes os seus efeitos sobre os trabalhadores (Shoaf et al, 2004). No entanto, a correcta implementação do *Lean* requer uma intervenção eficiente da Ergonomia (Walder et al, 2007).

Da revisão da literatura efectuada foi possível identificar vários estudos que apresentam metodologias e ferramentas que integram o *Lean* e a Ergonomia e Segurança. Por exemplo, um estudo de (Smyth, 2003) apresenta duas metodologias *Lean*, o *Process Activity Mapping* e o *Line Balancing*, que possibilitam identificar e eliminar factores de risco por falta de adequação ergonómica e de segurança. Num outro trabalho é explorada uma estratégia de aplicação de três ferramentas de rastreio (Questionário *Demand-Energizer*, Questionário de Sintomas Músculo-Esqueléticos e Questionário de Sintomas de Stress) com o objectivo de encontrar a compatibilidade entre as capacidades dos trabalhadores e as exigências laborais, contribuindo deste modo para melhorar a qualidade ergonómica de ambientes *Lean* (Correia et al, 2010). Também (Wilson, 2005) apresenta um caso de estudo que analisa um processo onde são movimentadas paletes, através do *Motion Time Method* de forma a serem identificados movimentos excessivos (desperdício) e posteriormente indicadas recomendações. O mesmo autor considera a Ergonomia como uma ferramenta adicional do *Lean* capaz de reduzir desperdícios e criar valor nas organizações. (Nunes e Machado, 2007) referem a importância da utilização de ferramentas de apoio à decisão, nomeadamente métodos ergonómicos de avaliação de risco e simulação baseada em computador, respectivamente FAST ERGO\_X (Nunes, 2009) e SAMMIE, que contribuem para a concepção de sistemas de produção *Lean* permitindo a aplicação e integração de princípios ergonómicos e de segurança.

## **6 Metodologia**

Neste trabalho propõe-se uma metodologia, o Ciclo DMAIC<sup>+ES</sup>, que constitui um processo de melhoria contínua, destinado a incluir os princípios



ergonómicos e de Segurança nas diferentes fases de implementação do *Lean Six Sigma*, com o intuito de simultaneamente otimizar a eficiência dos sistemas produtivos e assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores.

A figura 1 apresenta os diferentes níveis da abordagem *Lean Six Sigma* + Ergonomia e Segurança, onde o topo representa o objectivo desta abordagem e que corresponde à eficiência dos sistemas produtivos, contemplado o fator Homem; o nível seguinte considera a metodologia DMAIC<sup>+ES</sup> (DMAIC + Ergonomia e Segurança Ocupacional), como meio das organizações implementarem a melhoria contínua, seguindo as filosofias *Lean* e *Six Sigma* e os princípios ergonómicos e de Segurança Ocupacional.



Figura 1 Abordagem *Lean Six Sigma* + Ergonomia e Segurança

Na metodologia proposta são utilizadas as ferramentas: *Value Stream Mapping* (El-haik e Roy, 2005), SAMMIE (Case et al, 1990) e plus<sup>ES</sup>. Esta última está a ser desenvolvida no âmbito deste trabalho.

O VSM é aplicável quando se pretende identificar e eliminar passos, acções e actividades de VNA, sendo que as actividades de VA são as que os clientes estão dispostos a pagar ao contrário das actividades de VNA que não são necessárias devendo ser eliminadas, simplificadas, reduzidas ou integradas (El-haik e Roy, 2005). O VSM também permite mapear o processo produtivo e calcular métricas *Lean* que serão monitorizadas na etapa *Control*.

O software SAMMIE é uma ferramenta HUMAN-CAD que permite simular configurações de postos de trabalho, pelo que é uma importante ferramenta no apoio à reformulação de PT. As aplicações HUMAN-CAD apresentam as vantagens de acelerar o processo de concepção e reduzir custos (Nunes e Machado, 2007).

O plus<sup>ES</sup> é um sistema de apoio à decisão concebido com o objectivo de incluir a Ergonomia e a Segurança Ocupacional na metodologia *Lean Six Sigma* de forma a otimizar o desempenho dos recursos humanos, que

fornece recomendações, pelo que se pode classificar como sistema pericial. Apesar de neste trabalho a aplicação do plus<sup>ES</sup> se centrar nas fases *Analyze* e *Improve*, o sistema pode suportar as restantes fases da metodologia DAMAIC<sup>+ES</sup>.

O plus<sup>ES</sup> tem uma arquitectura típica dos sistemas de apoio à decisão, que compreende quatro componentes, conforme se apresenta na figura 2.

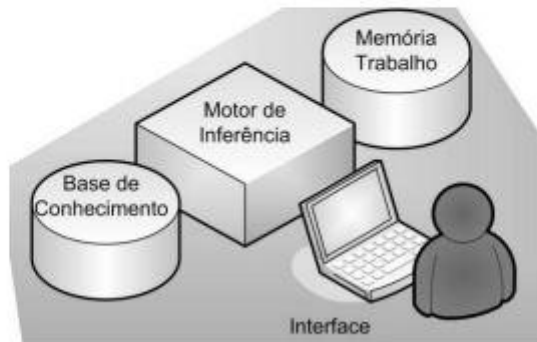


Figura 2 Componentes de um sistema de apoio à decisão, adaptado de (Nunes, 2009)

Na *Base de Conhecimento* é armazenado o conhecimento relativo ao domínio de aplicação do sistema, neste caso com base em regras de inferência IF THEN (ver regras [1] e [2]). O conhecimento foi extraído a partir de legislação e de princípios e boas práticas de Ergonomia e de Segurança (HSE, 2011; Nunes, 2006; OSHA, 2008).

A *Memória de Trabalho* contém a descrição do problema inicial e regista os resultados intermédios e as decisões, guardando em memória tudo o que é relevante sobre as operações de inferência realizadas.

O *Motor de Inferência* realiza inferência sobre o conhecimento existente na base de conhecimento relativamente aos dados existentes na memória de trabalho e, com base nas regras de inferência, formula conclusões e recomendações.

A *Interface* permite ao utilizador aceder ao sistema.

A figura 3 representa a conceptualização do objectivo da metodologia proposta neste artigo, isto é, a integração dos princípios da Ergonomia, da Segurança e *Lean Six Sigma*, bem como exemplos de ferramentas usadas.

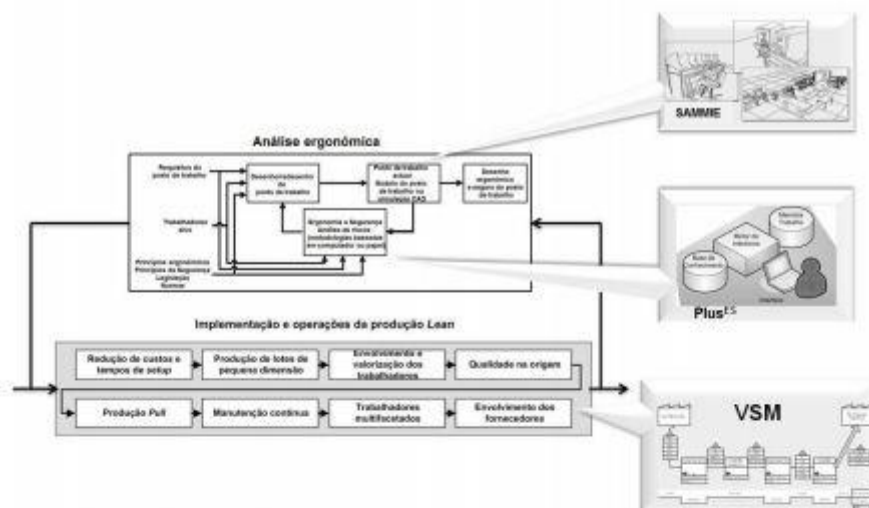


Figura 3 Modelo conceptual da integração da Ergonomia e Segurança no Lean Six Sigma, adaptado de (Nunes & Machado, 2007)

A figura 4 apresenta a metodologia proposta neste trabalho, que como já referido se designou por Ciclo DMAIC<sup>+ES</sup> e corresponde à integração da Ergonomia e Segurança Ocupacional em cada uma das fases do ciclo DMAIC, a qual incorpora as ferramentas descritas acima.



Figura 4 Ciclo DMAIC+ES, adaptado de (John et al, 2008)

Com a metodologia DMAIC<sup>+ES</sup> pretende incluir-se em cada uma das etapas do ciclo princípios de Ergonomia e Segurança Ocupacional. Assim na etapa:

1. *Define* – definir a oportunidade de melhoria de um projecto. Os objectivos e requisitos (produtivos, ergonómicos e de Segurança Ocupacional) da organização e dos clientes, que podem ser externos ou internos à mesma, são definidos.



2. *Measure* – seleccionar métricas produtivas, ergonómicas e de Segurança para caracterizar os outputs. Gerir a recolha dos *outputs* e desenvolver e validar um sistema de medição.
  - Métricas Produtivas – *process cycle efficiency* (PCE), *lead time*, nível do *work-in-process*, tempo *takt*, tempo de *setup*, tempo de VNA, *throughput* (El-haik e Roy, 2005).
  - Métricas Ergonómicas – número de lesões, variância da produtividade, taxa de rejeição ou retrabalho, número de dias perdidos, grau de rotatividade, nível de absentismo, questionário do nível de conforto (Burke, 1998), posturas inadequadas, nível de repetição, nível de força.
  - Métricas de Segurança – índice de frequência, índice de incidência, índice de gravidade, indicador da eficácia de utilização de equipamentos de protecção individual (ESAW, 2001), (OIT, 2002).
3. *Analyze* – identificar e analisar as causas dos problemas relacionados com o desempenho da organização, bem como os ligados à saúde e segurança dos trabalhadores.

Nesta fase propõe-se que sejam utilizadas as ferramentas: VSM, SAMMIE e plus<sup>ES</sup>. Como referido, o plus<sup>ES</sup>, baseia-se em regras IF THEN, que nesta fase são usadas para identificar situações que não estão de acordo com a legislação e/ou princípios ou boas práticas de Ergonomia e de Segurança, que sejam originadas pela implementação do *Lean Six Sigma*, fornecendo uma avaliação do grau de gravidade do problema (regras [1]). Actualmente, o sistema contempla sete áreas de intervenção ergonómica/segurança (trabalho com equipamentos dotados de visor, manuseamento manual de carga (MMC), ritmo de trabalho, posturas, vibração, ruído e utilização de equipamentos de protecção individual). A avaliação é efectuada com base num conjunto de  $n$  atributos relevantes para a área específica, por exemplo, no manuseamento manual de cargas, o peso da carga, a distância a percorrer ou as características da carga. As regras assumem a seguinte estrutura:

$$\begin{aligned}
 &\text{IF } (at_{1j} \text{ é classe}_1) \text{ AND/OR} \\
 &\quad (at_{2j} \text{ é classe}_2) \text{ AND/OR} \\
 &\quad \dots \\
 &\quad (at_{nj} \text{ é classe}_n) \\
 &\text{THEN conclusões}_j
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

onde:

$at_{ij}$  – corresponde ao  $i$ -ésimo atributo para a área de intervenção ergonómica/segurança  $j$

*classe<sub>n</sub>* – corresponde à classificação do *n-ésimo* atributo

*conclusões<sub>j</sub>* – corresponde ao resultado da avaliação do grau de gravidade da situação existente e consequentemente, do grau de prioridade para accionar a área de intervenção ergonómica/ segurança *j*

De forma a facilitar a sua aplicação e consequentemente melhorar a usabilidade da ferramenta, a mesma vai estar disponível em formato digital.

4. *Improve* – através de reuniões com a equipa envolvida no processo, avaliar possíveis soluções alternativas, seleccionar a solução mais adequada e implementá-la. As possíveis soluções são identificadas com base nas causas nucleares avaliadas na etapa *Analyze*, sendo usado um novo conjunto de regras que assumem a seguinte estrutura:

IF *causa<sub>ij</sub>* OR ... OR *causa<sub>mj</sub>* [2]  
THEN *recomendações<sub>j</sub>*

onde:

*causa<sub>ij</sub>* – corresponde ao *i-ésimo* factor de risco para a área de intervenção ergonómica/segurança *j*

*recomendações<sub>j</sub>* – corresponde ao conjunto de possíveis soluções a implementar no âmbito da área de intervenção ergonómica/segurança *j*

Em caso de possível alteração de *layout*, as etapas *Analyze* e *Improve* deverão ser repetidas.

5. *Control* – Documentar e monitorizar as soluções implementadas e desenvolver planos de reacção caso o processo se encontre fora de controlo.

## 7 Aplicação da Metodologia

Nesta secção é apresentada, através da simulação de um processo produtivo, um exemplo de aplicação da metodologia desenvolvida. O processo produtivo consiste no transporte das matérias-primas 1 e 2 (MP1 e MP2) para a zona de produção; de seguida a MP1 é colocada no torno para produzir a peça 1 (P1); depois o operador desloca-se para a zona de montagem onde realiza a limpeza do PT e prepara-o para a próxima montagem; o operador regressa à zona de produção e aguarda que a P1 esteja concluída para de seguida colocar a MP2 no torno; enquanto a peça 2 (P2) é produzida, o trabalhador aguarda (micro pausa); quando a P2 está concluída, o operador transporta as duas peças para a zona de montagem onde obtém o produto acabado (PA), que é transportado para o armazém.



Com o intuito de identificar as oportunidades de melhoria *Lean* considerando também os princípios ergonómicos e de Segurança Ocupacional, o DMAIC<sup>+ES</sup> foi aplicado de forma a analisar o processo produtivo simulado.

### 7.1 DMAIC<sup>+ES</sup>

#### Define

**Projecto:** implementação *Lean* e dos princípios ergonómicos e de Segurança Ocupacional no processo produtivo

**Oportunidade:** possibilidade de aplicação de princípios *Lean* e de princípios ergonómicos e de Segurança Ocupacional

**Objectivo:** reduzir desperdícios preservando a saúde e segurança do trabalhador

**Requisitos:** satisfação de princípios *Lean*, ergonómicos e de Segurança

#### Measure

Para este caso de estudo foram seleccionadas as seguintes métricas (*output*) a analisar na etapa *Control*

**Métricas *Lean*:** *lead time* e PCE

**Métricas de Ergonomia:** questionário do nível de fadiga

#### Analyze

**Ferramentas:** VSM, SAMMIE e plus<sup>ES</sup>

A figura 5 representa o VSM que permite mapear e representar o processo produtivo. Com o *software* SAMMIE (figura 6) foi simulado o *layout* do posto de trabalho. Estas ferramentas possibilitam a identificação de problemas e das respectivas causas, respectivamente ao nível do processo produtivo e das posturas do operador. A análise efectuada pelo plus<sup>ES</sup> não identificou quaisquer problemas ergonómicos nem de Segurança na configuração inicial do posto de trabalho.

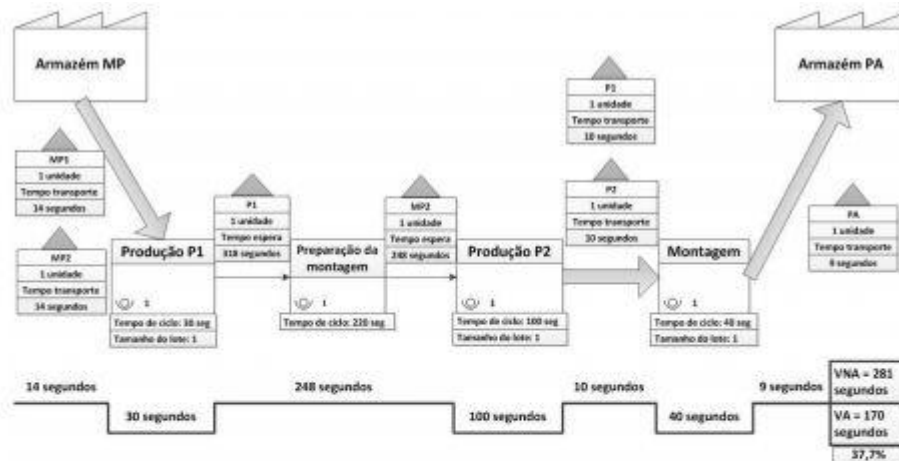


Figura 5 VSM do processo produtivo

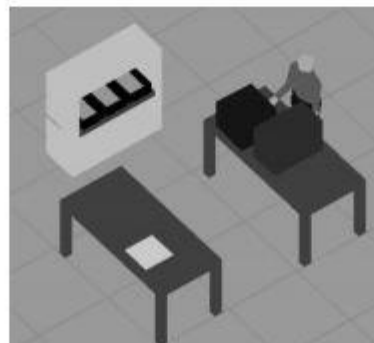


Figura 6 Layout do posto de trabalho

**Problemas:** 1) Actividades de VNA de longa duração

**Causas:** 1.1) transporte individual dos materiais com manuseamento manual de cargas, 1.2) zona de montagem afastada da zona de produção, 1.3) armazém de MP afastado da zona de produção e 1.4) tempo de espera entre produção de peças elevado

#### Improve

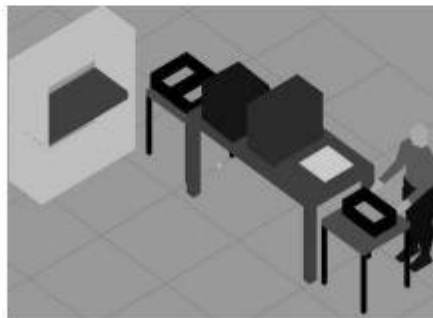
Através da aplicação do VSM e do SAMMIE verificou-se que existiam várias deslocações que não acrescentavam valor ao processo produtivo, bem como elevados tempos de espera. Reuniões com a equipa envolvida no processo permitiram seleccionar e implementar as soluções: transporte de PA em lotes de 10 unidades, alteração do *layout* com a inclusão da zona de montagem próxima do torno, caixas das MP colocadas na zona de produção, armazém apenas de PA e troca da ordem de produção da P1 e P2. Como

foram seleccionadas soluções que implicam redesenho do PT e qualquer alteração do *layout* pode envolver custos adicionais e novos problemas podem surgir, então a etapa *Analyze* será repetida, sendo enfatizada uma das principais características desta metodologia que corresponde à melhoria contínua dos processos.

#### Analyze (2ª iteração)

**Ferramentas:** SAMMIE e plus<sup>ES</sup>

Através do SAMMIE foi realizada uma nova simulação do processo produtivo já com as soluções implementadas (figura 7) para verificar se estas eram adequadas.



*Figura 7 Layout do posto de trabalho com soluções implementadas*

Com a análise da simulação efectuada no SAMMIE e através da aplicação do plus<sup>ES</sup> foi identificado um problema relacionado com o transporte de PA para o armazém (MMC). A regra [3] ilustra a forma como o plus<sup>ES</sup> avalia as condições de trabalho existentes, na perspectiva da área de intervenção ergonómica/segurança “MMC”.

IF (sexo é masculino) AND  
(frequência do manuseamento é ocasional) AND [3]  
(peso manuseado é  $\geq 30$  Kg)  
THEN inadequabilidade do *manuseamento manual de cargas* é grave

Assim, a combinação das três causas apresentadas na regra [3] resulta num MMC inadequado, constituindo um problema para a saúde e segurança do operador.

**Problemas:** 1) MMC inadequado

**Causas:** 1.1) caixa de PA com peso superior a 30 Kg

#### Improve (2ª iteração)



Na sequência da análise anteriormente efectuada verificou-se que o MMC era inadequado, dado que o operador tinha que deslocar ocasionalmente cargas com um peso superior a 30 kg. Recorrendo ao plus<sup>ES</sup> é identificado o conjunto de potenciais soluções com base em recomendações existentes na base de conhecimento do plus<sup>ES</sup>. No caso em análise as recomendações são obtidas invocando a seguinte regra:

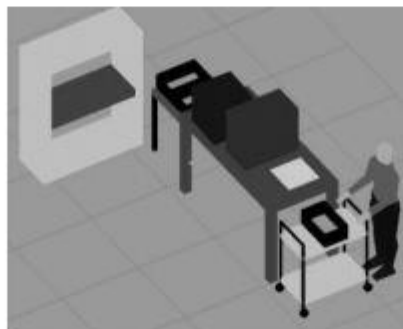
IF        *peso manuseado é  $\geq 30$  Kg*  
THEN 1) subdividir carga, [4]  
      2) fornecer carrinho de transporte ou  
      3) fornecer equipamentos mecânicos

A realização de reuniões com a equipa envolvida no projecto permitiu concluir que a melhor opção seria fornecer um carrinho de transporte, através do qual se elimina o MMC. Mais uma vez será necessário repetir a etapa *Analyze*.

#### Analyze (3ª iteração)

**Ferramentas:** SAMMIE e plus<sup>ES</sup>

O processo produtivo foi novamente simulado através do SAMMIE (figura 8) e a configuração resultante analisada pelo plus<sup>ES</sup>, não se identificando novos problemas. Assim sendo a execução do ciclo DMAIC<sup>+ES</sup> prosseguiu com a etapa *Control*.



*Figura 8 Layout do posto de trabalho com a recomendação implementada*

#### Control

Nesta etapa foram documentadas as alterações originadas pela implementação das soluções escolhidas nas diversas etapas *Improve* e, aplicando o VSM (figura 9), foram calculadas novamente as métricas produtivas.

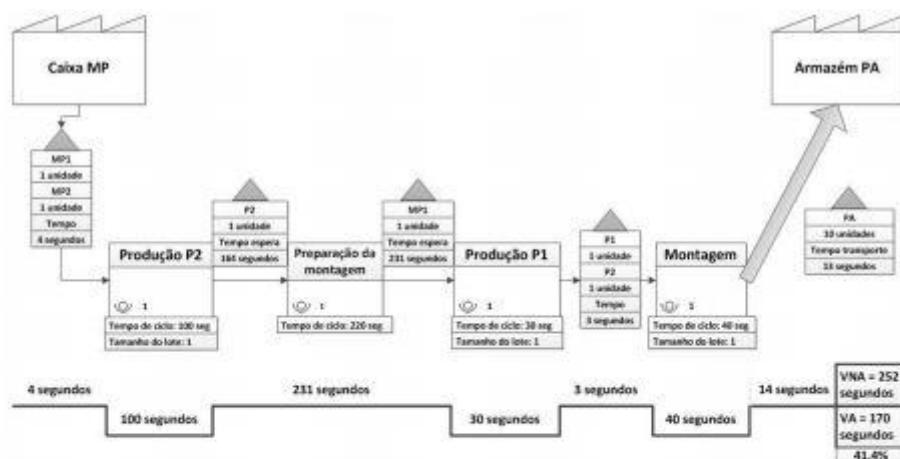


Figura 9 VSM do processo produtivo com soluções implementadas

Com base na análise das métricas seleccionadas na etapa *Measure*, verificou-se que o *lead time* diminuiu de 70,2 minutos para 51,1 minutos e que o PCE aumentou de 37,7% para 41,4%. A aplicação de um questionário desenvolvido para avaliar o nível de fadiga, efectuada antes e depois da implementação das soluções, permitiu concluir que, com a diminuição de deslocações e com o transporte de 10 unidades de PA utilizando o carrinho, o nível de fadiga do operador tinha diminuído.

## 7.2 Análise dos resultados

Nesta secção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação da metodologia DMAIC<sup>+ES</sup>. A tabela 1 apresenta o resumo dos problemas e práticas implementadas, das melhorias *Lean* e ergonómicas.

	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Problemas	▪ VNA ↑	▪ MMC	✓
Práticas implementadas	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lotes de 10 PA</li> <li>▪ Redesenho PT</li> <li>▪ MP junto ao torno</li> <li>▪ Armazém de PA</li> <li>▪ Produção P1 ↔ P2</li> </ul>	▪ Carrinho
Melhorias Lean	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lead time ↓</li> <li>▪ VNA ↓</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lead time ↓</li> <li>▪ VNA ↓</li> </ul>
Melhorias ergonómicas	-	-	▪ Eliminação de MMC

Tabela 1 Resumo da aplicação da metodologia

A figura 10 representa uma comparação dos resultados alcançados para a simulação 1 (S1) e para a simulação 3 (S3) com a apresentação dos valores do *lead time* e PCE.

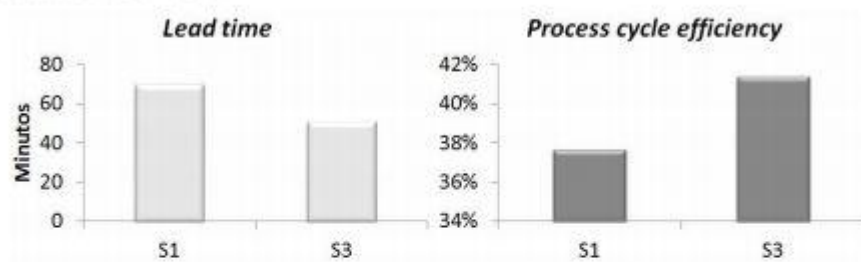


Figura 10 Comparação dos resultados

Como se pode observar houve uma considerável redução do *lead time* da S1 para a S3 ( $TC_{S1} = 70,2$  minutos e  $TC_{S3} = 51,1$  minutos). O PCE aumenta quando analisamos a S3 comparativamente à S1 ( $VA_{S1} = 37,7\%$  e  $VA_{S3} = 41,4\%$ ). De salientar que com a implementação da simulação 2 seriam alcançadas melhorias *Lean*, no entanto a sua implementação no PT real traria problemas ergonômicos ao nível do MMC, situação evitada com a aplicação do SAMMIE e do plus<sup>ES</sup>.

## 8 Conclusão

A Ergonomia e a Segurança Ocupacional podem ter um reflexo significativo no desempenho das organizações, sendo fundamental que se tenham em conta os seus princípios, permitindo melhorar o bem-estar do trabalhador e como consequência a sua produtividade e da organização.

Neste artigo foi apresentada uma metodologia, DMAIC<sup>+ES</sup>, que poderá contribuir para as organizações aperfeiçoarem o seu esforço de melhoria contínua através da combinação do *Lean Six Sigma* e dos princípios ergonômicos e de Segurança Ocupacional. O sistema de apoio à decisão plus<sup>ES</sup> foi concebido com o intuito de integrar os princípios da Ergonomia e da Segurança Ocupacional no *Lean Six Sigma* de forma a otimizar o desempenho do sistema produtivo.

Através do caso de estudo apresentado neste trabalho demonstraram-se os benefícios que a implementação do DMAIC<sup>+ES</sup> pode trazer para as organizações. Através da combinação do plus<sup>ES</sup> com o SAMMIE foram identificados problemas ergonômicos que poderiam surgir caso fossem implementadas exclusivamente soluções *Lean* (figura 7).



Complementarmente, foram recomendadas soluções que permitiam evitar problemas para a saúde e a segurança dos operadores e que, simultaneamente, melhoraram o desempenho do processo produtivo, por aumentarem a PCE e reduzirem o *lead time* e os custos associados à conceção do PT.

**Agradecimentos:** Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projecto número MIT-Pt/EDAM-IASC/0033/2008.

### **Referências:**

Arnheiter, E. D. e Maleyeff, J. (2005), "The integration of lean management and Six Sigma", *The TQM Magazine*, Vol. 17, pp. 5-18.

Burke, M., (1998), "Ergonomics tool kit: practical applications", Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.

Case, K.; Porter, M., e Bonney, M., (1990), "SAMMIE: a man and workplace modelling system", *Computer-Aided Ergonomics*, Karwowski, W., Genaidy, A. e Asfour, S. (Eds), Taylor & Francis, pp. 31-56.

Correia, N.; Machado, V. C., e Nunes, I. L., (2010), "Case Study: Estratégia de Aplicação de Ferramentas de Apoio à Gestão do Desempenho Humano em Ambientes Lean", 6th International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, Guimarães; pp. 163-167.

Devane, T., (2004), "Integrating Lean Six Sigma and High-Performance Organizations: Leading the charge toward dramatic, rapid, and sustainable improvement", San Francisco: Pfeiffer.

Dul, J. e Neumann, W. P., (2009), "Ergonomics contributions to company strategies", *Applied ergonomics*, Vol. 40, pp. 745-52.

El-haik, B. e Roy, D. M., (2005), "Service Design for Six Sigma: A Road Map for Excellence", John Wiley & Sons, Inc.

ESAW, (2001), "European Commission, European Statistics on Accidents at Work", acedido em 07 de Fevereiro de 2012, em <http://www.hsa.ie/eng/>

Fernández-Muñiz, B.; Montes-Peón, J. M., e Vázquez-Ordás, C. J., (2009), "Relation between occupational safety management and firm performance", *Safety Science*, Vol. 47, pp. 980-991.

- Genaidy, A. M. e Karwowski, W., (2003), "Human performance in lean production environment: Critical assessment and research framework", *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 13, pp. 317-330.
- George, M.L., (2003), "Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions". McGraw-Hill Companies.
- George, M. L., (2002), "Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed", Dallas: McGraw-Hill Companies.
- Hicks, B. J., (2007), "Lean information management: Understanding and eliminating waste", *International Journal of Information Management*, Vol. 27, pp. 233-249.
- HSE, (2011), "A-Z of guidance by topic", acedido em 10 de Fevereiro de 2012, em: <http://www.hse.gov.uk/>
- IEA Council, (2000), "The Discipline of Ergonomics", acedido em 07 de Fevereiro de 2012, em: <http://www.iea.cc/>
- Jiang, J. C.; Chen, K. H., e Wu. M. C., (2004), "Integration of Six Sigma and Lean Production", 33rd International Conference on Computers and Industrial Engineering.
- John, A.; Meran, R.; Roenpage, O., e Staudter, C., (2008), "Six Sigma + Lean Toolset", Lunau, S. (Ed.), Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- Linderman, K.; Schroeder, R. G.; Zaheer, S., e Choo, A. S., (2003), "Six Sigma: a goal-theoretic perspective", *Journal of Operations Management*, Vol. 21, pp. 193-203.
- Melton, T., (2005), "The Benefits of Lean Manufacturing What Lean Thinking has to Offer the Process Industries", *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 83, pp. 662-673.
- Montgomery, D. C., e Woodall, W. H., (2008), "An Overview of Six Sigma", *International Statistical Review*, Vol. 76, pp. 329-346.
- Neumann, W. P., (2004), "Production Ergonomics: Identifying and Managing Risk in the Design of High Performance Work Systems", *Industrial Engineering*, Lund Technical University.
- Nunes, I.L., (2006), "Lesões Músculo-esqueléticas Relacionadas com o Trabalho - Guia para avaliação de risco", Lisboa: Verlag Dashöfer.



Nunes, I. L., e Machado, V. C., (2007), "Merging Ergonomic Principles into Lean Manufacturing", Industrial Engineering Research Conference, Nashville-Tennessee; pp. 836-841.

Nunes, I. L., (2009), "FAST ERGO\_X – a tool for ergonomic auditing and work-related musculoskeletal disorders prevention", WORK: A Journal of Prevention, Assessment, & Rehabilitation, Vol. 34, pp. 133-148.

OIT, (2002), " Indicadores de Segurança Ocupacional: Uma análise crítica - Directrizes práticas da OIT", Lisboa: IDICT.

OSHA, (2008), "European Safety and Health Legislation", acedido em 13 de Fevereiro, em: <http://osha.europa.eu/>

Shoaf, C.; Genaidy, A.; Karwowski, W., e Huang, S. H., (2004), "Improving performance and quality of working life: A model for organizational health assessment in emerging enterprises". Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 14, pp. 81-95.

Smith, R., (2003), "Growing an ergonomics culture in manufacturing", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, pp. 1027-1030.

Smyth, J., (2003), "Work smarter not harder! Ergonomics in a lean business environment", Annual Conference of the Ergonomics-Society, Edinburgh; pp. 532-537.

Walder, J.; Karlin, J., e Kerk, C., (2007), "Integrated Lean Thinking & Ergonomics: Utilizing Material Handling Assist Device Solutions for a Productive Workplace", Material Handling Industry of America.

Wilson, L., (2010), "How to Implement Lean Manufacturing", I. McGraw-Hill Companies.

Wilson, R., (2005), "Guarding the line: Score big by planning for worker safety while you implement lean", Industrial Engineer, Vol. 37, pp. 46-49.

Womack, J.P. e Jones, D. T., (2003), "Lean Thinking: banish waste and create wealth in your organization". Simon and Shuster, Inc.

Womack, J.P.; Jones, D.T., e Ross, D., (1990), "The machine that changed the world", Macmilan Publishing Company.

## **Anexo 2 – Classificação das posturas**





A Tabela 18 apresenta os critérios RULA relativos às posturas inadequadas. A classificação varia de 1 a 4 sendo que a gravidade vai aumentando com a escala. Neste trabalho consideraram-se as seguintes classificações: nada grave se for atribuída a classificação 1, grave se for 2 ou 3 e muito grave se for 4 ou mais.

**Tabela 18 - Critérios RULA: posturas inadequadas** (adaptado de Nunes, 2002)

Classificação	Tronco	Pescoço	Ombro	Cotovelo/Antebraco	Punho**
*					
1	0°	0 – 10°	- 15 – 15°	60 – 100°	0°
2	0 – 20°	10 – 20°	< - 15° 15 – 45°	0 – 60° > 100°	- 15° – 15°
3	20 – 60°	> 20°	45 – 90°		< -15° > 15°
4	> 60°	< 0°	> 90°		

\* Adicionar 1 se o braço atravessa a linha média do corpo / Adicionar 1 se o braço trabalha afastado lateralmente do corpo

\*\* Adicionar 1 se punho inclinado lateralmente

Quanto à força aplicada, pode observar-se na Tabela 19 os critérios do método RULA. A classificação é atribuída de igual forma à referida na Tabela 18.

**Tabela 19 - Critérios RULA: força aplicada** (adaptado de Nunes, 2002)

Score para força/carga	Classificação			
	0	1	2	3
	Sem resistência ou carga / força intermitente < 20Kg	carga / força intermitente entre 2Kg e 10Kg	Carga estática entre 2Kg e 10Kg Carga /força repetitiva entre 2 Kg e 10 Kg	Carga estática > 10Kg Carga / força repetitiva > 10Kg Forças ou choque rápido







A Figura 32 ilustra o questionário do nível de fadiga, a que os operadores responderam, antes e uma depois das alterações efectuadas nos respectivos postos de trabalho, durante a realização deste trabalho. Conforme se pode observar nas Figuras 33, 34 e 35 existem duas cores a diferenciarem o momento das respostas. A vermelho, estão assinaladas as respostas antes das implementações efectuadas e a verde, correspondem as que foram dadas depois das alterações. Nos casos em que se encontra só uma resposta a verde significa que a resposta antes e depois das alterações foi a mesma.

Descansado	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Cansado
Concentrado	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Desconcentrado
Calmo	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Nervoso
Produtividade normal	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Produtividade comprometida
Ausência de dor nos músculos do pescoço	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Dor nos músculos do pescoço
Ausência de dor nos músculos do tronco	1 - 2 - 3 - 4 - 5	Dor nos músculos do tronco
Ausência de dor nos músculos na região lombar	1 - 2 - 3 - 4 - 5	dor nos músculos na região lombar
Ausência de dor nos músculos dos membros superiores	1 - 2 - 3 - 4 - 5	dor nos músculos dos membros superiores
Ausência de dor nos músculos dos membros inferiores	1 - 2 - 3 - 4 - 5	dor nos músculos dos membros inferiores

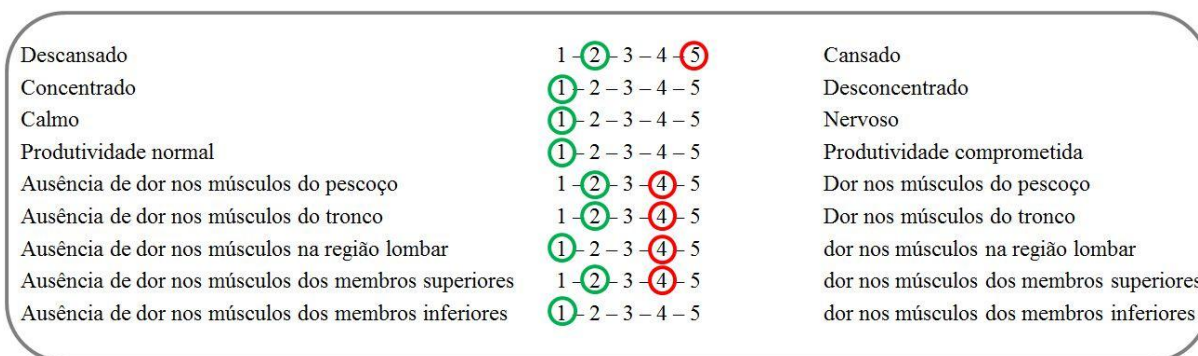
**Figura 33 – Questionário do nível de fadiga** (adaptado de Couto, 1995)

A partir da Figura 33 é possível verificar que o operador, na simulação realizada na *proof of concept*, respondeu positivamente em três aspectos: revelou menos cansaço depois das alterações implementadas, na situação inicial a produtividade poderia ser considerada comprometida, o que deixou de se verificar, e ainda foi possível atingir uma diminuição de dor nos músculos dos membros inferiores.

Descansado	1 - ② - 3 - ④ - 5	Cansado
Concentrado	1 - ② - 3 - 4 - 5	Desconcentrado
Calmo	① - 2 - 3 - 4 - 5	Nervoso
Produtividade normal	① - 2 - ③ - 4 - 5	Produtividade comprometida
Ausência de dor nos músculos do pescoço	1 - ② - 3 - 4 - 5	Dor nos músculos do pescoço
Ausência de dor nos músculos do tronco	1 - ② - 3 - 4 - 5	Dor nos músculos do tronco
Ausência de dor nos músculos na região lombar	① - 2 - 3 - 4 - 5	dor nos músculos na região lombar
Ausência de dor nos músculos dos membros superiores	1 - ② - 3 - 4 - 5	dor nos músculos dos membros superiores
Ausência de dor nos músculos dos membros inferiores	1 - ② - 3 - ④ - 5	dor nos músculos dos membros inferiores

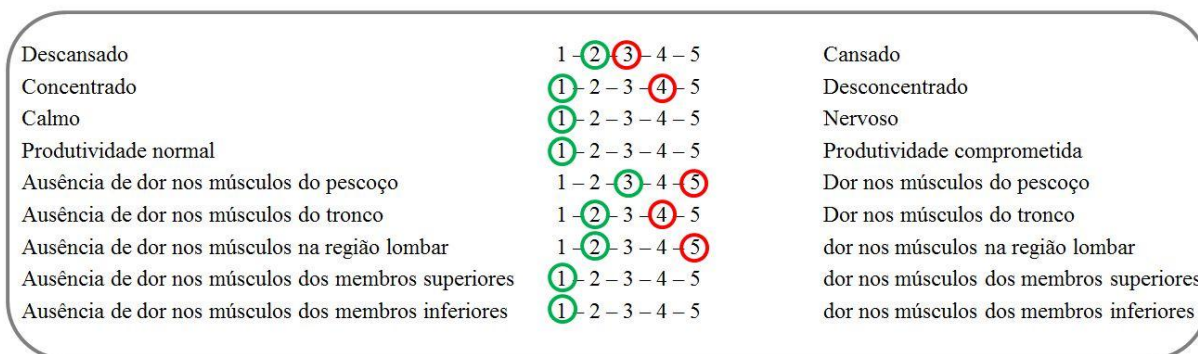
**Figura 34 – Proof of concept - questionário**

Analisando a Figura 34, conclui-se que o operador na situação inicial da reparação de um sofá, atingia um nível máximo de cansaço e dores nos músculos do pescoço, do tronco, da região lombar e dos membros superiores, situação que foi quase totalmente corrigida, analisando a resposta do mesmo operador, depois das alterações efectuadas.



**Figura 35 – Montagem de sofás - questionário**

Quanto à confecção do cortinado, observando a Figura 35 são facilmente perceptíveis as melhorias alcançadas, com principal destaque para o nível de concentração da operadora e das dores nos músculos do pescoço, do tronco e da região lombar.



**Figura 36 – Confecção do cortinado - questionário**







A Figura 36 mostra a diferença da zona de montagem dos sofás antes (a) e depois (b) das alterações efectuadas. Pode observar-se, que a porta (assinalada com o número 1 na Figura 36) foi desobstruída, permitindo ao operador transportar o sofá com maior facilidade e, de notar também, a arrumação do posto de trabalho (zona assinalada com o número 2) na sequência da formação fornecida ao operador da Técnica 5s.

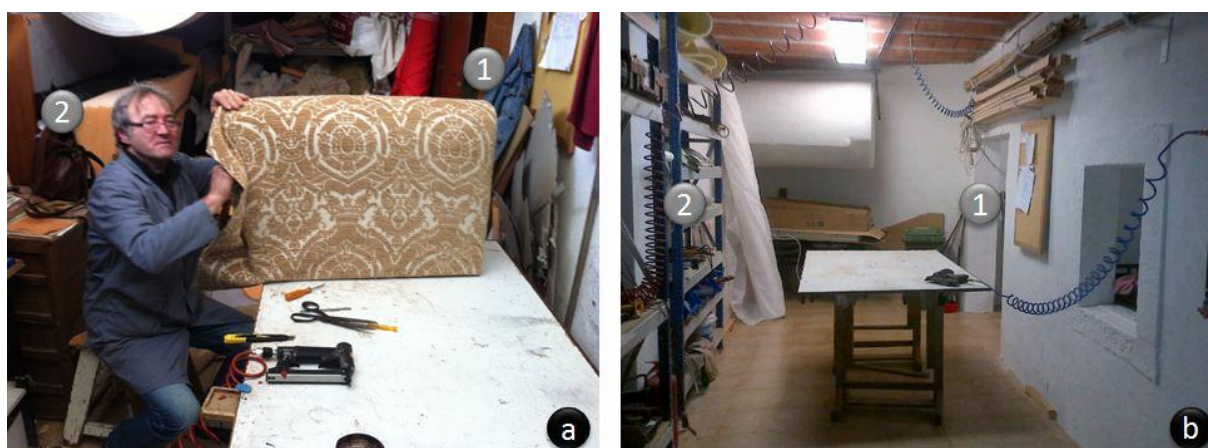


Figura 37 – Zona de montagem dos sofás: a) antes e b) depois das alterações efectuadas

Na zona das máquinas de costura, através da visualização da Figura 37, é possível verificar a alteração de *layout*, assinalado com o número 2, do posicionamento das máquinas de costura, para haver maior facilidade na passagem dos sofás por aquela zona, até à zona da sua reparação, passando pela porta agora desobstruída (1).

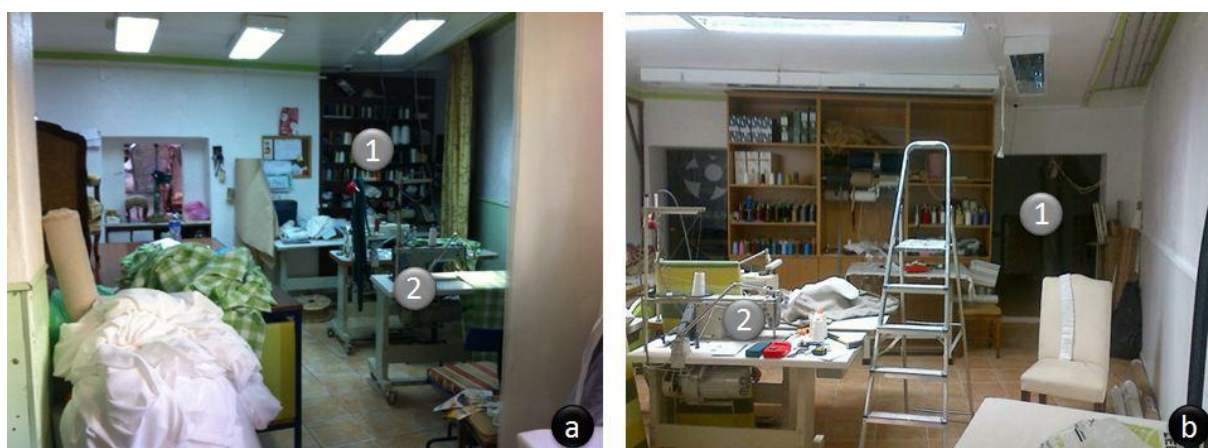


Figura 38 – Zona das máquinas de costura: a) antes e b) depois das alterações efectuadas

Relativamente à Figura 34, a entrada do *atelier*, é possível verificar a nova localização da mesa de corte logo à entrada, ocupando a zona que até então servia de montra.



**Figura 39 – Entrada do *atelier*: a) antes e b) depois das alterações efectuadas**